

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра теоретичної електротехніки

«На правах рукопису»
УДК 621.316.9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М. Я. Островерхов

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

на тему: «Система моніторингу блискавок для об'єктів енергетики»

Виконав

студент VI курсу, групи ЕВ-71мп

Прилепа Роман Федорович _____

Керівник:

Доцент кафедри теоретичної електротехніки,

к.т.н, доцент, Шостак В. О. _____

Консультант з маркетингу:

Ст. викладач кафедри промислового маркетингу, к.е.н.,

Царьова Т. О. _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра теоретичної електротехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» («Техніка та електрофізика високих напруг»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора

ТОВ «ІНТЕЛТЕХ»

_____ О. А. Філонова

«___» _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М. Я. Островерхов

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Прилепі Роману Федоровичу

1. Тема дисертації «Система моніторингу блискавок для об'єктів енергетики», науковий керівник дисертації Шостак Володимир Олександрович, к.т.н., доцент, затверджена наказом по університету від «07» листопада 2018 р. №4107-с.
2. Термін подання студентом дисертації: грудень 2018 року.
3. Об'єкт дослідження: система моніторингу блискавок, які уражають об'єкти
4. Вихідні дані: системи попередження грози; системи відеореєстрації уражень блискавкою (розміри об'єкту 500x500 м)
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: розробити пропозиції щодо системи моніторингу блискавок для об'єктів; скласти та обґрунтувати алгоритм її роботи; на основі аналізу електромагнітних характеристик блискавки запропонувати датчики тригерування системи моніторингу.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: кадри тестувань ІР відеокамер; графіки та таблиці за результатами моделювання електромагнітних полів та сигналів напруг в антенних датчиках;

7. Перелік публікацій:

1. Р. Прилепа, В. Шостак. Автоматизована система реєстрації блискавок, які уражують об'єкти великих розмірів // Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2016.
2. Р. Прилепа, В. Шостак. Аналіз систем грозопеленгації та попередження про грозову активність // Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2017.
3. Shostak V., Prylepa R., Kozlov O., Brzhezitsky V. (2017). Design of conception on lightning monitoring system for strikes to structures. Technology audit and production reserves, № 6/1(38), 2017, с. 47-59. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119319.
4. V. Shostak, R. Prylepa and O. Kozlov, "Tests of Video Cameras for Lightning Monitoring System," 2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Rzeszow, Poland, 2018, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICLP.2018.8503294
5. Р. Прилепа, В. Шостак. Система моніторингу блискавок для об'єктів енергетики // Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2018.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Маркетинг високовольтного обладнання	Царьова Т. О., ст. викладач кафедри промислового маркетингу		

9. Дата видачі завдання: 03 Вересня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Складання плану. Аналіз систем локації та попередження блискавок. Огляд систем відео реєстрації блискавок	Вересень 2018	
	Розробка пропозицій щодо системи моніторингу за блискавками на об'єктах енергетики. Вибір основних її компонентів. Розробка алгоритму роботи	Жовтень 2018	

	Вибір датчику (антени магнітного поля) для тригерування системи моніторингу. Моделювання характерних режимів системи тригерування	Листопад 2018	
	Стартап-проект: Система моніторингу блискавок для об'єктів енергетики	Грудень 2018	

Студент

Р. Ф. Прилепа

Науковий керівник дисертації

В. О. Шостак

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить: сторінок – 127, рисунків – 55, таблиць – 35, додатків – 1, кількість використаних джерел – 39.

В роботі запропоновано системи моніторингу для об'єктів та проведено моделювання електричних полів та вихідної напруги із антен магнітного поля та фільтрів за допомогою пакетів програм Mathcad 15 та SPICE-подібної комп'ютерної програми Micro-Cap Evaluation Version. Допоміжні програми: Microsoft Office Word 2019, Microsoft Office Visio 2019, Microsoft Office Power Point 2019.

Актуальність теми. Моніторинг грозової активності набуває все більшого поширення у світі, що пов'язано із необхідністю прогнозування, попередження та локації грозових розрядів. Отримані дані в першу чергу цікаві для об'єктів енергетики, авіакосмічної галузі, підприємств, що займаються видобутком або виготовленням вибухонебезпечних продуктів, де розряд блискавки може спричинити серйозну аварію або ж несвоєчасне виявлення факту і місця ураження в подальшому може призвести до аварійної ситуації. В той же час, ряд нормативних документів, що діють як в Україні та і у світі (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ДСТУ EN 62305:2012) регламентують перевірку систем блискавкозахисту перед кожним грозовим сезоном та після кожного ураження блискавкою. Проблема виконання таких вимог нормативних документів полягає у великих матеріальних затратах, що пов'язано із великими розмірами об'єктів (наприклад, лінії електропередач (ЛЕП), фотоелектричні станції (ФЕС), вітроелектричні станції (ВЕС)), щодо яких є важливим отримувати не лише архівну статистичну інформацію з грозових уражень, але й оперативну інформацію для ефективного та швидкого усунення аварійних ситуацій і їх недопущення.

Один з найважливіших способів представлення інформації про ураження блискавкою об'єкту є відео фіксація розряду блискавки. Отримані кадри

дозволяють оперативно та точно визначити місце удару, оцінити ступінь аварійності ситуації та спланувати необхідні дії за короткий проміжок часу. Це можливо за наявності відео систем моніторингу (VCM), що пропонується в даній дисертаційній роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертаційна робота виконувалась відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Мета і задачі дослідження. Розробити структуру і алгоритм роботи системи моніторингу блискавок та обґрунтувати параметри основних її компонент.

Об'єкт дослідження. Система моніторингу блискавок, які уражають об'єкти.

Предмет дослідження. Структура, алгоритм роботи та датчики тригерування системи моніторингу блискавок для об'єктів, в т.ч. і енергетики.

Метод дослідження. Базується на аналізі електромагнітних характеристик блискавок та моделюванні вихідних характеристик датчиків системи моніторингу із застосуванням схемотехнічних програм для визначення основних технічних характеристик датчиків та інших ключових частин, необхідних для її роботи.

Для досягнення поставленої мети в ході даної роботи ставилися задачі:

1. Провести аналіз існуючих систем моніторингу блискавок та систем попередження грозової активності, на основі яких визначити основні технічні характеристики та недоліки систем, що буде покладено у концепцію комплексної системи моніторингу блискавок для об'єктів енергетики;

2. Запропонувати і обґрунтувати структуру ВСМ та принцип її роботи на основі аналізу характеристик ЕМ-поля, створюваного струмом блискавки, що буде виступати тригеруючим фактором для ВСМ;
3. Розробити алгоритм роботи системи моніторингу;
4. Запропонувати датчики для даної ВСМ із розрахунком їх основних характеристик.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано структуру та обґрунтовано принцип роботи системи моніторингу блискавок для великих об'єктів, аналогів якої немає на європейському та українському ринку, що використовує відео реєстрацію моменту ураження, яка використовує для тригерування та додаткової локації блискавок електромагнітне поле.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена система може використовуватись для моніторингу уражень блискавкою великих об'єктів енергетики та в інших галузях. Частково результати роботи було використано у розробці системи відео моніторингу блискавок на Новому Безпечному Конфайнменті на ЧАЕС.

Публікації. Результати розробки системи моніторингу блискавок викладено в наступних публікаціях:

1. Р. Прилепа, В. Шостак. Автоматизована система реєстрації блискавок, які уражують об'єкти великих розмірів // Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2016.
2. Р. Прилепа, В. Шостак. Аналіз систем грозопеленгації та попередження про грозову активність // Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2017.

3. Shostak V., Prylepa R., Kozlov O., Brzhezitsky V. (2017). Design of conception on lightning monitoring system for strikes to structures. Technology audit and production reserves, № 6/1(38), 2017, с. 47-59. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119319.
4. V. Shostak, R. Prylepa and O. Kozlov, Tests of Video Cameras for Lightning Monitoring System, 2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Rzeszow, Poland, 2018, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICLP.2018.8503294
5. Р. Прилепа, В. Шостак. Система моніторингу блискавок для об'єктів енергетики // Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2018.

Ключові слова. Відеореєстрація блискавок, грозопеленгація, моніторинг блискавок, система моніторингу блискавок, система попередження про грозу,

ABSTRACT

The master's dissertation contains: pages - 127, drawings - 55, tables - 35, applications - 1, number of sources used - 39.

The paper presents a monitoring system for facilities and conducted simulations of electric fields and the output voltage of the magnetic field of antennas and filters using the software package Mathcad 15 and SPICE-shaped computer program Micro-Cap Evaluation Version. Utilities: Microsoft Office Word 2019, Microsoft Office Visio 2019, Microsoft Office Power Point 2019.

Actuality of theme. The monitoring of storm activity in the modern globalized world is becoming more widespread, due to the need to predict, prevent and locate lightning discharges. The obtained data are primarily interesting for the objects of power engineering, the aerospace industry, enterprises engaged in the extraction or manufacture of explosive products, where the lightning strike can lead to a serious accident or the timely detection of the site of damage in the future can lead to an emergency. At the same time, a number of regulatory documents in force in Ukraine and in the world (DSTU B V.2.5-38: 2008, DSTU EN 62305: 2012) regulate the verification of lightning protection systems before each lightning season and after each lightning strike. The problem of the implementation of these normative documents is the large material costs associated with the large dimensions of the objects (for example, power lines, photovoltaic stations (PS), wind power plants (WPP)) for which it is important to receive not only archival statistical information, but also operational information for the effective and rapid elimination of emergencies.

The best way to represent information about an affected by a lightning object is to record a video of the moment of the lightning flash. The received footage allow quickly and accurately determine the place of impact, estimate the degree of emergency situation and plan the necessary actions in a short period of time. This

is possible due to video monitoring systems (VMS), which is proposed to be developed in this dissertation.

Relationship of work with scientific programs, plans, themes. The master's dissertation work was carried out in accordance with the plans of research works of the Department of Theoretical Electrical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

The purpose and tasks of the study. To develop an algorithm for the system of lightning monitoring and to substantiate its main components and parts.

The object of research. Lightning monitoring system that affects objects.

Subject of study. Structure, algorithm of work and trigger sensors of lightning monitoring system for objects, including and power engineering.

Method of research. Based on analysis of lightning electromagnetic characteristics and modeling of output characteristics of sensors of the monitoring system with the use of circuit diagrams for determining the basic technical characteristics of sensors and other key parts necessary for its operation.

To achieve the purpose in the course of this work it is necessary:

1. To conduct an analysis of existing lightning monitoring systems and thunderstorms warning systems, on the basis of which to determine the main technical characteristics and their shortcomings, which will be included in the concept of a system of developed lightning monitoring system for energy objects;
2. To propose and substantiate the structure of the VSM and the principle of work on the main characteristics of the EM field of current created by the lightning current, which will act as a trigger pulse for the VSM;
3. To develop the operation algorithms of the monitoring system;
4. To suggest sensors for this VSM with the calculation of their main characteristics.

Scientific novelty of the obtained results. The structure and the principle of the work of lightning monitoring system for large objects, the analogues of which are absent in the European and Ukrainian markets, by using video recording of the moment of strike, which uses an electromagnetic field for triggering and additional location of lightning, is suggested and substantiated.

The practical value of the results. The developed system can be used to monitor the damage caused by lightning to large objects. Partially the results of the work were utilized for design of the lightning video monitoring system for the New Safe Confinement at the Chornobyl Nuclear Power Plant.

Keywords. lightning recording, lightning monitoring, lightning monitoring system, thunder-storm warning system, thunderbolt lightning.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	14
ВСТУП	15
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК.....	20
1.1 Системи грозопеленгації у світі	20
1.2 Система грозопеленгації в Україні	29
1.3 Системи попередження грози (грозові детектори).....	29
1.4 Системи відеоспостереження за блискавкою	37
1.5 Висновки	40
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ І АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК	42
2.1 Комплексна система	43
2.2 Спрощена система моніторингу	53
2.3 Компоненти системи	54
2.3.1 Мікрокомп'ютер.....	54
2.3.2 Модуль передачі даних	57
2.3.3 Система глобального позиціювання	59
2.3.4 Модуль IP відеокамери.....	61
2.3.5 Модуль живлення системи.....	65
2.4 Висновки	67
3. МОДЕЛЮВАННЯ МОДУЛЯ ТРИГЕРУВАННЯ	68
3.1 Антена магнітного поля	68
3.2 Моделювання ФНЧ для магнітної антени та його вихідних параметрів	93

3.3 Висновки	99
4. СТАРТАП – ПРОЕКТ: КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ. МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ	101
4.1 Опис ідеї товару	101
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	104
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	105
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	111
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	114
4.6 Висновки	117
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	122
ДОДАТОК 1.....	127

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ВСМ – відео система моніторингу

ОП – операційний підсилювач.

МК – мікрокомп'ютер

ПЗ – програмне забезпечення.

ПЗІП – пристрій захисту від імпульсних перенапруг

ПС – перетворювач сигналу

СБЗ – система блискавкозахисту.

СД – система датчиків.

СМ – система моніторингу.

СС – Cloud to Cloud (хмара – хмара).

CG – Cloud to Ground (хмара земля).

GPIO – General-Purpose Input/Output (Інтерфейс введення/виведення загального призначення).

GPRS – General Packet Radio Service (Загальний сервіс пакетної радіопередачі).

GPS – Global Positioning System (Система глобального позиціонування).

IC – Intra-Cloud (всередині хмари).

LDS – Lightning Detection System (система виявлення блискавок).

LLS – Lightning Location System (системи локалізації блискавок).

NLDN – National Lightning Detection Network (Національна мережа США для детекції блискавок).

RS – Return Stroke (зворотний удар).

SPI – Serial Peripheral Interface (послідовний периферійний інтерфейс).

TWS – Thunderstorm Warning System (система попередження про грозу)

UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (універсальний асинхронний приймач/передавач)

ВСТУП

Моніторинг грозової активності в світі набуває все більшого поширення, що пов'язано із необхідністю прогнозування, попередження та локації грозових розрядів. Отримані дані в першу чергу цікаві для об'єктів енергетики, авіакосмічної галузі, підприємств, що займаються видобутком або виготовленням вибухонебезпечних продуктів, де розряд блискавки може спричинити серйозну аварію або ж несвоєчасне виявлення факту і місця ураження в подальшому може призвести до аварійної ситуації. Це спонукає власників таких об'єктів і метеорологічні компанії до запровадження та розвитку автоматизованих систем дистанційної реєстрації і локації блискавок (LLS – Lightning Location System), як наземного, так супутникового базування [1–3], дані із яких допомагають уточнювати карти грозової активності, прогнозувати переміщення грозових фронтів, збирати великі масиви статистичних даних для розробників електротехнічного обладнання, електроенергетичних систем, проєктантів будівель, споруд і об'єктів в різних галузях, страхових компаній та метеослужб.

З 2016 року в Україні почав роботу сегмент системи глобальної грозопеленгації та попередження ENTLN (Earth Networks Total Lightning Network) [4]. Інформація із даної системи допоможе інженерам у проєктуванні систем блискавкозахисту, оскільки поступово буде уточнюватися параметр густини ударів блискавок на 1 км² за рік для України, а також буде надаватися можливість для попередження та аналізу розрядів поблизу відповідальних об'єктів. Хоча системи на базі LLS мають високу ефективність виявлення розрядів типу «хмара-земля» (CG – Cloud to Ground) близько 90 – 99%, але їх похибка локації часто може сягати 0.1 – 0.5 км, що у більшості випадків є критичним. Наприклад, для парку вітрогенераторів така похибка є неприпустимою, оскільки не надає точного місця ураження елемента електрогенерації, а подальше експлуатування

вітрогенератора із пошкодженням може призвести до серйозної аварії і, як наслідок, до великих економічних збитків.

Поряд із системами LLS розвиваються дещо простіші системи попередження про грозову активність (TWS – Thunderstorm Warning System), які діють локально – у межах одного об'єкту [6]. Системи даного типу дозволяють, на основі аналізу зміни електричних та магнітних полів, прогнозувати наближення грозового фронту, що надає змогу завчасно вжити необхідних заходів. Наприклад, на нафтопереробному заводі – зупинити перекачування вибухонебезпечних продуктів на критичних ділянках; на великих площах (поле для гольфу, будівельні майданчики) – попередити людей про наближення грози і багато чого іншого. Серед недоліків TWS є те, що ефективність їх складає, за останніми дослідженнями, 20 – 80 % [5], а також, як і у випадку LLS – неможливість точного визначення місця удару блискавки.

В той же час, ряд нормативних документів, що діють як в Україні та і у світі (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ІЕС/ДСТУ EN 62305:2012) регламентують перевірку систем блискавкозахисту перед кожним грозовим сезоном та після кожного ураження блискавкою. Проблема виконання таких вимог нормативних документів полягає у великих матеріальних затратах, що пов'язано із великими розмірами об'єктів (наприклад, лінії електропередач (ЛЕП), фотоелектричні станції (ФЕС), вітроелектричні станції (ВЕС)), щодо яких є важливим отримувати не лише архівну статистичну інформацію з грозових уражень, але й оперативну інформацію для ефективного та швидкого усунення аварійних ситуацій і їх недопущення.

Один з найважливіших способів представлення інформації про ураження блискавкою об'єкту є відео фіксація розряду блискавки. Отримані кадри дозволяють оперативно та точно визначити місце удару, оцінити ступінь аварійності ситуації та спланувати необхідні дії за короткий проміжок часу. Це можливо за наявності відео систем моніторингу (ВСМ), які на даний час

активно розвиваються в Китаї та Японії. Так в Китаї було створено високоточну систему (Китайську сітку мережі виявлення блискавок, CGLDN), яка поєднує в собі системи типу LLS та TWS, які доповнено високошвидкісною камерою на основі CCD-матриці та іншими технічними пристроями [6]. Це дозволяє фіксувати короткотривалі спалахи блискавки як за допомогою відео фіксування так і їх електромагнітних характеристик з великою точністю локації, але вартість даних систем досить значна (лише швидкісна камера – близько 12 000...100000 дол. США) [6]. Тому зрозуміло, що ВСМ на одичних об'єктах повинна мати меншу вартість. В окремих системах, які було створено в Китаї, застосовують звичайні відеокамери спостереження, що значно здешевлює систему моніторингу [6]. Для тригерування моменту запису відео, на якому буде присутній розряд блискавки, використовують оптичний датчик. Обрані фрагменти відео надсилають по бездротовій або оптоволоконній мережі. Основний недолік таких систем це те, що вони покладаються на оптичне випромінювання з каналу розряду блискавки і не вимірюють характеристики ЕМ-поля, як станції LLS та TWS, що дозволило б не лише попереджувати про наближення грози (як це роблять системи TWS), але й реєструвати місце удару, як системи LLS, та тригерувати момент вилучення кадрів із зафіксованим ураженням об'єкту. Таке рішення надає можливість розширити можливості ВСМ блискавок та підвищить надійність такої системи, оскільки оптичний датчик може не спрацювати або спрацювати хибно, що пов'язано із невеликою видимістю каналу блискавки вдень, яскравими іншими оптичними явищами, що випадково можуть бути сприйняті за спалах блискавки.

Розробка комплексної системи моніторингу блискавок, яка б включала в себе як систему відео спостереження, так і датчики реєстрування характеристик ЕМ-полів, створюваних розрядом блискавки, носить першочергове значення для України. Дана система буде особливо

затребувана в центральній та південній частині України, де зосереджено велика кількість об'єктів відновлювальної енергетики та промисловості, що пов'язана із переробкою, в т.ч. і вибухонебезпечних речовин. Варто відзначити, що дана система буде затребувана і на будь-якій системі генерації та розподілення енергії. Наприклад, в 2017 році на ЧАЕС було введено в експлуатацію конфайнмент над четвертим енергоблоком, під яким будуть виконувати роботи з демонтажу та утилізації зруйнованого реактора. Ураження блискавкою даного укриття та несвоєчасне виявлення місця розряду блискавки, під час виконання робіт над реактором, може призвести до серйозної екологічної катастрофи. Застосування СМ з відео фіксацією допоможе уникнути цього.

Тому *метою даної роботи* є розробка структури і алгоритму роботи системи моніторингу блискавок та обґрунтування параметрів основних її компонент.

Для досягнення поставленої мети в ході даної роботи ставилися задачі:

1. Провести аналіз існуючих систем моніторингу блискавок та систем попередження грозової активності, на основі яких визначити основні технічні характеристики та недоліки систем, що буде покладено у концепцію системи комплексної системи моніторингу блискавок для об'єктів енергетики;
2. Запропонувати і обґрунтувати структуру ВСМ та принцип її роботи на основі аналізу характеристик ЕМ-поля, створюваного струмом блискавки, що буде виступати тригеруючим фактором для ВСМ;
3. Розробити алгоритм роботи системи моніторингу;
4. Запропонувати датчики для даної ВСМ із розрахунком їх основних характеристик.

Об'єкт дослідження. Система моніторингу блискавок, які вражають об'єкти.

Предмет дослідження. Структура, алгоритм роботи та датчики тригерування системи моніторингу блискавок для об'єктів, в т.ч. і енергетики.

Метод дослідження. Базується на аналізі електромагнітних характеристик блискавок та моделюванні вихідних характеристик датчиків системи моніторингу із застосуванням схемотехнічних програм для визначення основних технічних характеристик датчиків та інших ключових частин, необхідних для її роботи.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК

Для прогнозування грозової активності в ряді країн розробляються та запроваджуються системи локалізації блискавок (LLS – Lightning Location System) або ще їх інша назва мережі детектування (пеленгації) блискавок (LDN – Lightning Detection Network), серед яких можна виокремити NLDN, SAFIR, BOLT, а також попереджувальні системи (TWS - Thunderstorm Warning System) – TLDS, THOR GUARD, LDS Boltek, ATSTORM, LPI LWS, використання яких в енергосистемах дозволяє зекономити порядку 300000 \$ на рік [7]. Кожна із даних систем має різні принципи роботи та цілі застосування.

В даному розділі буде проведено аналіз основних характеристик та принципів роботи даних систем із зазначенням їх основних переваг та недоліків. Отримана інформація в подальшому буде використана для проектування СМ.

1.1 Системи грозопеленгації у світі

Системи LDS базуються на використанні мережі наземних або супутникових датчиків електромагнітного поля, що працюють в діапазоні частот ELF (від 1 Гц) до VHF (300 МГц). Розряди СС та СГ блискавки випромінюють сигнали на дуже високій частоті або VHF (від 30 до 300 МГц) і низької частоти або VLF (від 3 до 30 кГц), в той же час розряди типу СС найкраще визначати у діапазоні частот VHF, а типу СГ - LF (30 – 300 кГц) та VLF (3 – 30 кГц) [8]. Тому станції грозопеленгації працюють в діапазоні частот 3 кГц – 300 МГц.

Кожна із наземних станції вимірює електромагнітний сигнал, що продукується розрядом блискавки та надсилає їх на сервер. Коли удар блискавки був зафіксований декількома наземними станціями та інформація була передана на сервер, можливо використання методів для визначення

місця удару блискавки, інтенсивності грозової активності, амплітуди струму, типу блискавки.

Серед методів, що використовуються як в наземних, так і в супутникових LDS для визначення місця удару, можна виділити наступні:

- Час прибуття (TOA);
- Магнітне пеленгування (MDF);
- Оптичне випромінення.

Методика часу прибуття (TOA) базується на визначення характеристик електромагнітної хвилі: часу наростання фронту імпульсу, часу досягнення максимуму сигналу, моменту перетину даного сигналу через нуль, що одночасно вимірюється на декількох станціях. Різниця моментів часу t_1 , t_2 (див. рис. 1.1.1) приходу сигналу між двома наземними станціями 1 та 2 визначає гіперболу, а застосування декількох пар датчиків дозволяє побудувати декілька гіпербол, місце перетину яких визначає місцезнаходження удару блискавки, що відбувся в момент часу t_0 .

При певних умовах дві із трьох гіпербол можуть співпасти, що призведе до не визначеності у координатах місця удару блискавки [9]. Таким чином для точного виявлення розташування місця ураження потрібно що найменше чотири станції. Для коректної роботи дані системи синхронізують час по GPS, але через наявність фіксованої випадкової похибки вимірювання часу призводить до фіксованої випадкової похибки у обчисленні місця удару блискавки. Причому помилка у обчисленні точки ураження прямопропорційна випадковій похибці вимірювання часу і не залежить від відстані між датчиками та місцем удари блискавки. Дана похибка не впливає на визначення напрямку удару (MDF), тому для збільшення точності визначення місця удару ці дві методики поєднуються в даний час в системах NLDN, SAFIR.

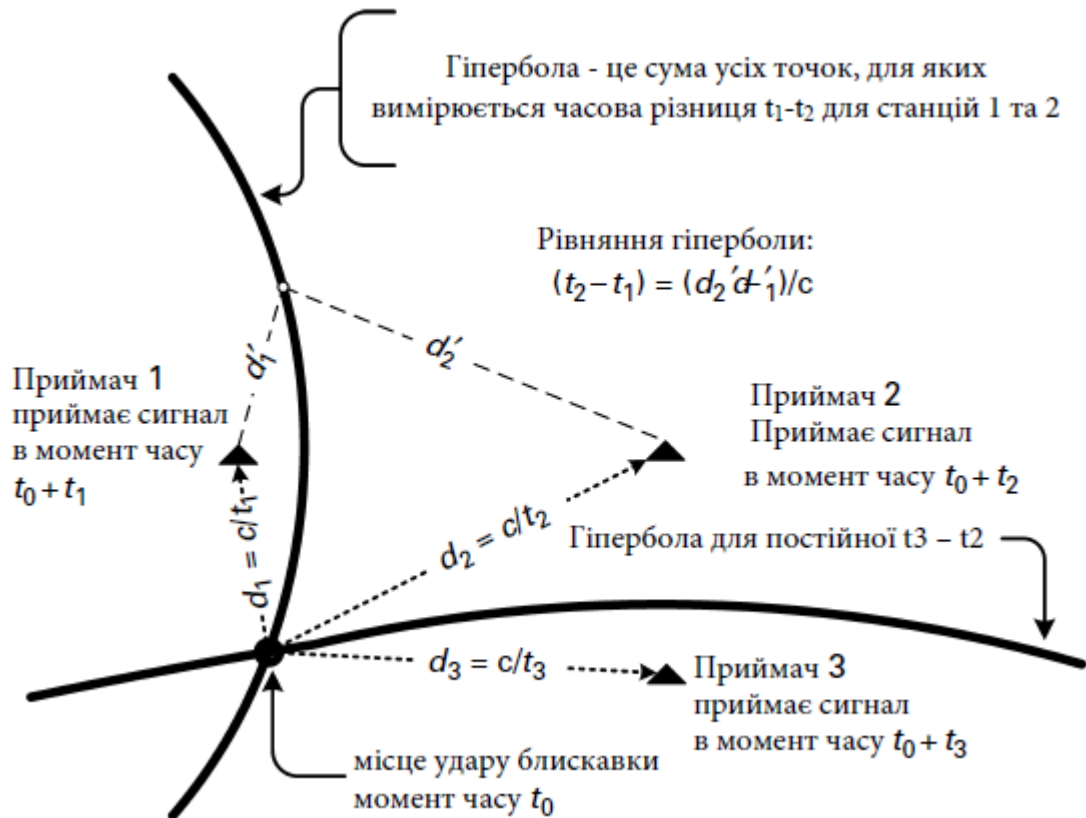


Рисунок 1.1.1 – Визначення місця удару блискавки, використовуючи різницю в часі приходу електромагнітної хвилі (метод TOA), де:

c – швидкість світла [10]

Фінська компанія VAISALA має у своєму складі продукції систему для детектування блискавок SAFIR, що побудована на базі сенсора VS8000 [11], яка працює за принципом інтерферометрії та TOA.

Інтерферометрія - це техніка, яка базується на визначенні фазових відмінностей сигналу між антенами (в даному випадку п'ять дипольних антен див. рис. 1.1.2), які вимірюють у спектрі VHF і тому не можуть точно вимірювати сигнал, що надійшов із великою відстаней через його згасання, що пов'язано із великою частотою.

Метод визначення магнітного напрямку (MDF) використовує дві ортогонально розташовані антени для вимірювання амплітуди магнітного поля спричиненого блискавкою. Відношення виміряних амплітуд кожною

антенною, може використовуватись для визначення азимуту місця удару блискавки по відношенню до розташування антен, що дає вектор напрямку. Перетин двох або більше векторів, що зафіксували один і той же розряд блискавки, дає точне розташування до розряду. Однак, кожен вектор азимуту має випадкову кутову похибку і також може мати систематичну кутову похибку, причому остання може бути викликана об'єктами по яким протікає струм, такими як підстанції, ЛЕП, що розташовуються поблизу антен. Це означає, що при збільшенні відстані буде збільшуватись площа ймовірного місця удару блискавки утворена перетином двох або більше станцій, що зафіксували удар (див. рис. 1.1.3).



Рисунок 1.1.2 – Вигляд антен Vaisala Thunderstorm Total Lightning Sensor LS8000 [11]

Відмінність між MDF та інтерферометрією полягає у тому, що MDF вимірює сигнал магнітного поля, тоді як інтерферометрія вимірює сигнал електричного поля створюваного струмом блискавки.

LDS на базі сенсора VS8000 працює в різних діапазонах частот: п'ять дипольних антен, що застосовуються для інтерферометрії працюють в

діапазоні частот VHF (110 - 118 МГц), а датчик TOA (шоста антена) вимірює сигнал, що створений розрядом блискавки в діапазоні LF (1 - 350 кГц) [11].

Датчики Vaisala LS8000 мають ефективність детектування блискавок CG >90%, ефективність детектування блискавок типу IC не зазначається. Точність локалізації для блискавки типу CC складає 1000 – 2000 м, типу CG – 250 – 500 м. Рекомендована відстань між датчиками 20 – 180 км [11].

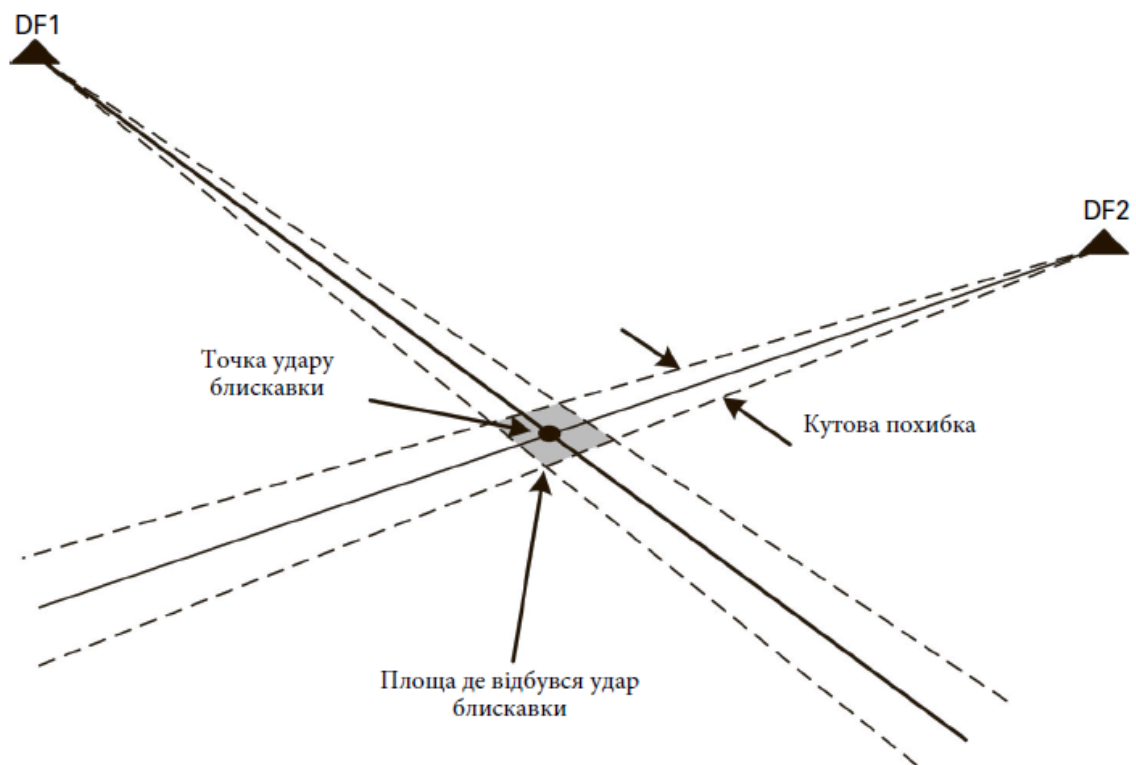


Рисунок 1.1.3 – Знаходження точки удару блискавки за рахунок перетину двох векторів від станції DF1 і DF2 та пов'язані із цим похибки [10]

У 2003 році NLDN була викуплена компанією Vaisala та модернізована [12]. Технічні характеристики даної системи [13]:

- Точність виявлення наближення грози – 100%;
- Ефективність виявлення удару блискавки типу CG більше 95%;
- Ефективність виявлення спалаху CG – 80-85%;
- Розряд типу IC ефективність виявлення – 50 ~ 60%;

- Середня точність локалізації 150-250 м або вище, якщо дектори розташовані на відстані не більш ніж 300-350 км.

Методи TOA та MDF є основними, які в даний час використовуються у грозопеленгації. Вони мають як свої переваги та недоліки:

- Метод TOA працює у діапазоні частот від VLF до VHF. Аналіз в діапазоні VHF дозволяє більш якісніше визначати часові характеристики сигнатур ЕМ-поля та класифікувати розряди створюваного струмом блискавки ніж в діапазоні VLF, в той же час, це накладає ряд обмежень, що пов'язані із затуханням сигналу високої частоти. Часові характеристики отриманого сигналу повинні бути розділені в часі для такого аби уникнути кореляції між даними (роздільна здатність фіксування сигналу по часу повинна складати не менше 100 нс [12]), оскільки саме по ним визначається характеристики розряду та місце удару;
- Метод MDF може працювати в діапазонах від VLF до VHF (в частотному діапазоні VHF працює метод інтерферометрії). Так як інтерферометричний метод (масив антен) забезпечує один вимір кута з одного місця розташування датчику, сигнали, що виявлені за допомогою цих антен можна вважати ідентичними, за винятком відмінностей в їх час прибуття (або фаз, для вузько смугового сигналу). Тому для даного методу не потрібно точно визначати характеристику форми сигналу та може інтегрувати відмінність часу приходу сигналу протягом тривалих інтервалів часу (наприклад, десятки секунд або мілісекунд). Це дозволяє інтерферометрії добре працювати при наявності радіозавад, але наявність кутової похибки призводить до досить великих площ ймовірного розташування розряду блискавки. Виходячи із простої геометрії при азимутальній похибці 0,5 градусів та відстані до розряду 150 км призводить до похибки у 1.3 км при визначенні

місця розряду. Більшість інтерферометричних систем працюють у дуже вузькому частотному діапазоні (від декількох сотень кГц до декількох МГц), що дозволяє системі мати високу чутливість у певному "тихому" діапазоні частот. Однак це накладає ряд проблем пов'язаних локальними широкосмуговими інтерференціями, що може не забезпечити максимально можливе співвідношення сигнал/шум і встановлює певні обмеження у визначенні часу прибуття сигналу [12].

Комбіновані системи мають перевагу в тому, що вони можуть використовувати два методи локалізації шляхом перетину гіперболи і триангуляції напрямків (дивись малюнок 1.1.4). Залежно від ПО та налаштувань системи можливо визначати типи розрядів (CC, IC, CG) та їх характеристики (амплітуда, тривалість, наявність постійної компоненти струму у розряді).

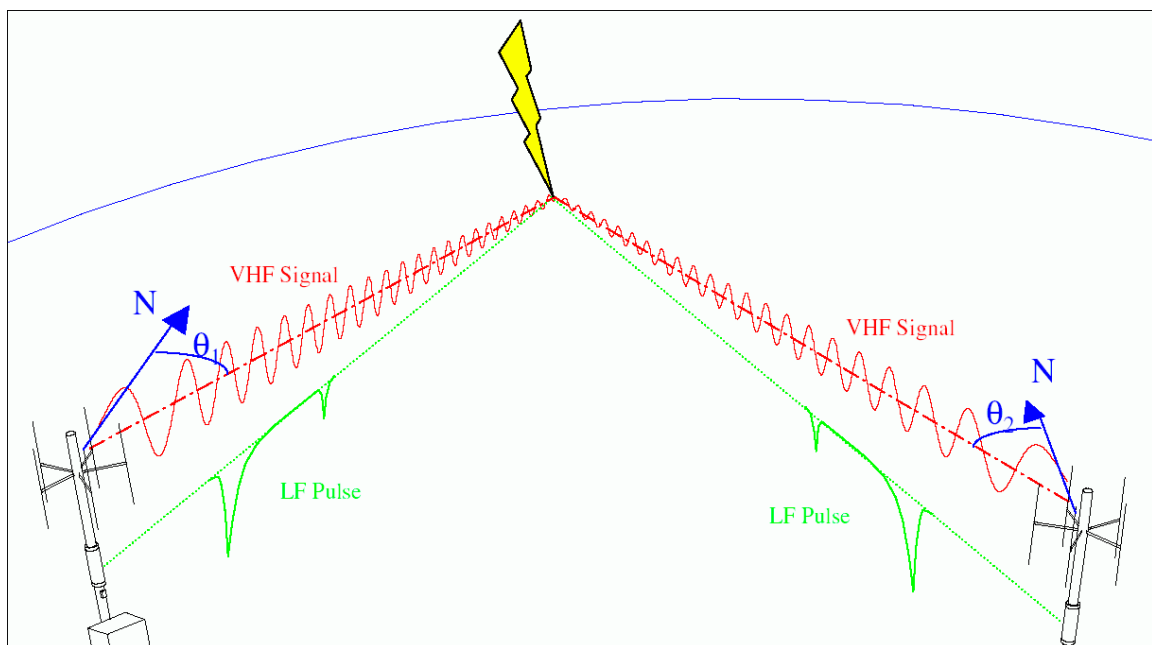


Рисунок 1.1.4 – Використання комбінованих методів локалізації удару блискавки на прикладі системи SAFIR. Імпульс у діапазоні частот LF дозволяє локалізувати і розпізнавати відповідно до методу TOA, тоді як сигнал VHF дозволяє локалізувати за допомогою інтерферометрії [10]

Оптичне випромінення створюване розрядами між хмарою та землею можуть бути зафіксовані супутником. Оскільки в складі атмосфері найбільш розповсюджені кисень та азот, то спектр, в якому випромінюється найбільша енергія, що викликана взаємодією струму блискавки, складає 777,4 нм (продукується нейтральним киснем) та 886,3 нм (продукується нейтральним азотом), а також у інфрачервоному діапазоні. Приблизно від 5 до 10% оптичної енергії блискавки випромінюється в цьому діапазоні. У супутникових системах LLS розряди блискавок використовують геометричну проекцію зображень, взятих із простору оптичного випромінювання від блискавки в межах хмар. Час, та координати блискавки можна обчислити, використовуючи цю методику. Абсолютна точність визначення розряду блискавки залежить від:

- еквівалентного розміру пікселів детекторного масиву, який визначає просторову роздільну здатність;
- ефекту розсіювання світла в межах хмари;
- точність позиціювання супутника.

Ефективність виявлення визначається співвідношенням сигнал до шуму для кожного елемента детектора, який визначається часом інтеграції пікселів, просторовим розширенням пікселів, фоновим підсвічуванням (що залежить від часу доби) та джерелами зовнішнього шуму [14].

У 2016 році NASA та Національне управління океанічних і атмосферних досліджень розробили і запустили супутник призначений для проведення атмосферних і поверхневих вимірювань Землі Західної півкулі для прогнозування погоди, стеження за бурями, моніторингу космічної погоди і для метеорологічних досліджень [15].

Інформація, що доступна із супутника, містить у своєму складі данні і про блискавку, оскільки його сенсори ведуть спостереження та картографують грозові розряди. Доступна інформація, може

використовуватись для прогнозування погоди, візуалізації даних та для збору статистичної інформації і складанню грозових карт.

Основний недолік такого методу:

- світлова пляма, яка фіксується супутником, має досить широку зону, що ускладнює точне виявлення місця удару;
- вдень, світло що відбивається від хмар унеможлиблює точну локалізацію місця удару блискавки.

Поряд із професійними LLS у світі також розвивається аматорський проект систем пеленгації розрядів блискавки – Blitzortung.org [16]. Обладнання для цієї системи можна зібрати самому, оскільки проект є відкритий або ж придбати у організаторів за 300 євро.

На даний час мережа складається із понад 500 датчиків [16], що розташовані по всьому світу. Система працює за методом TOA в діапазоні частот VLF та записує дані із дискретизацією 500 кГц. За допомогою GPS час прибуття сигналу реєструється із мікросекундою точністю та надсилається через мережу Інтернет на сервери обробки. В пакет даних, що надсилається входить також і точне місце розташування. За допомогою інформації із декількох станцій реєструється координати розряду (середній час обробки сигналу складає від 3 до 20 секунд).

Системи на базі LLS найкраще використовувати для збирання статистики та складання карт грозової активності, оскільки дозволяють із досить великою точністю (0.1-0.5 км) і ефективністю (до 99%) визначити місце удару та характеристики розряду блискавки. В той же час вони не дозволяють досить точно виявити чи було місце для локального об'єкта та надсилати попереджувальний сигнал у випадку зародження грозового фронту безпосередньо над об'єктом. Для цих цілей найкраще слугує системи TWS.

1.2 Система грозопеленгації в Україні

З 2016 року в Україні діє сегмент глобальної грозопеленгації та попередження ENTLN (Earth Networks Total Lightning Network), що включає в себе 12 датчиків, які встановлено в Києві, Одесі, Львові, Білій Церкві, Полтаві, Рахові, Сарнах, Новодністровську, Глухові, Асканії-Новій, Гуляйполі, Куп'янську. В основі даної системи лежить принцип реєстрації вертикальної компоненти електричного, та визначення місця удару блискавки по методиці TOA [17].

ENTLN дозволяє реєструвати та розрізняти розряди типу IC та CG. Основні характеристики системи ENTLN [17]:

- IC/CG класифікація;
- пікове значення струму імпульсів у розрядах типу IC та CG;
- полярність удару блискавки (позитивна або негативна);
- тривалість спалаху блискавки;
- ефективність виявлення блискавок «хмара-земля» (CG) практично по всій території України становить 90 – 95 %;
- ефективність виявлення блискавок «у хмарах» (IC) в різних регіонах території України варіюється в межах 30... 60 % (кращі значення – в центральних частинах);
- просторова точність виявлення блискавок становить в межах 200 – 500 м (в центральних частинах – 200 – 300 м).

1.3 Системи попередження грози (грозові детектори)

Необхідність створення та впровадження систем попередження про наближення грози дуже добре обґрунтована в стандарті ІЕС 62793:2016 [18] в якому описано на що може вплинути удар блискавки [18, 19]:

- під час великого скупчення людей на відкритих майданчиках (спортивні змагання, концерти, виставки) де удар блискавки може призвести до травм або летальних наслідків необхідно

попереджувати про наближення грозового фронту та вживати відповідних заходів;

- переривання передачі інформації через мережу Інтернет або потужності через електричні мережі за рахунок ураження дата центру, центрів генерації та розподілення потужності (електричні станції та підстанції), передаючих ліній;
- розповсюдження мікроелектронних компонентів у всіх сферах діяльності людини, що чутливі до впливу блискавки, призводить до виведення їх із ладу і як наслідок – матеріальні збитки через переривання технологічних процесів. Для зменшення впливу, іноді необхідно вимикати обладнання при наближенні грози;
- може стати джерелом екологічної катастрофи у випадку розряду блискавки в підприємство, що займається зберіганням або виготовленням вибухонебезпечних речовин;
- може бути причиною пожежі.

Для того аби класифікувати системи TWS розглянемо цикл утворення грозового фронту, відповідно до [18, 19]:

- *Фаза 1* – початкова;
- *Фаза 2* – фаза росту;
- *Фаза 3* – зріла фаза;
- *Фаза 4* – дисипація грозового фронту.

На початковій стадії (купчаста стадія) – відбувається перерозподіл зарядів електричного поля в межах хмари, що продукує перерозподіл зарядів на поверхні землі під хмарою. Збільшення рівня напруженості квазістатичного електричного поля («повільного» Е-поля) є першою ознакою наближення грози. Дані електростатичні поля становлять потенційну небезпеку оскільки можуть викликати статичні розряди. Фаза росту характеризується виникненням перших розрядів (внутрішньо-хмарових типу IC) ударів блискавки в землю (CG). Зріла фаза та фаза дисипації

характеризується збільшенням та зменшенням частоти розрядів ІС та СГ відповідно [19].

Стандарт ІЕС 62793:2016 [18] визначає наступні класи грозодетекторів:

- *Клас А:* детектори класу А виявляють грози протягом всього свого життєвого циклу (фази 1-4);
- *клас В:* детектори виявлення класу В пеленгують розряди типу ІС та СГ (етапи 2-4);
- *Клас С:* детектори виявлення класу С пеленгують лише СГ (фази 3 та 4);
- *Клас D:* детектори класу D виявляють спалахи СГ (фаза 3) та інші електромагнітні джерела з дуже обмеженою ефективністю.

Варто відзначити, що класифікація систем не пов'язана з ефективністю системи. В даний час найбільш широко використовується системи TWS на основі детекторів класу В і С. Такі системи призначені для набору статистичних даних, на основі яких можна визначити просторовий розподіл розрядів між хмарою та землею – Ng [18, 19].

Принцип роботи систем TWS базується на вимірюванні напруженості так званого «повільного» (квазістатичного) електричного поля, яке починає зростати при наближенні або утворенні грозового фронту. Ці зміни фіксуються та слугують первинним сигналом про те, що можлива гроза над об'єктом. Для фіксування змін магнітного поля, що створюється розрядами струму блискавки типу ІС та СГ дані системи доповнюються грозодекторами або ж використовують інформацію отриману із систем на базі LLS.

Система TWS умовно можна розділити на два основні види: з електромеханічними флюксометрами та з електронними [6]. До електромеханічних відносять продукцію компаніями Boltek Lightning Detection Systems та VAISALA Thunderstorm and Lightning Detection Systems [6].

Комплект системи TWS від канадської компанії Voltek включає в себе флюксометр EFM-100 для моніторингу напруженості електричного поля атмосфери та детекторів розряду блискавок LD-250, LD-350, що взаємодіє між собою за допомогою власного програмного забезпечення. Основні технічні характеристики даного флюксометра представлені в таблиці 1.3.1.

Електромеханічний спосіб вимірювання напруженості квазістатичного електричного поля базується на вимірюванні струму у ланцюзі між землею (корпус) та вимірювальною пластиною (див. рис. 1.3.1), тобто відбувається індукування зарядів при внесенні провідника у змінне електричне поле, яке створюється обертанням екрануючої пластини над вимірювальними електродами. Отриманий сигнал посилюється, проходить через фільтр низьких частот та надсилається на комп'ютер для обробки попередньо пройшовши через АЦП. Переваги такого методу це простота вимірювального елемента та висока точність. До недоліків належать – залежність вимірюваної величини від місця та висоти встановлення, що потребує попереднього калібрування та наявність рухомих частин, що зменшує надійність такої системи.

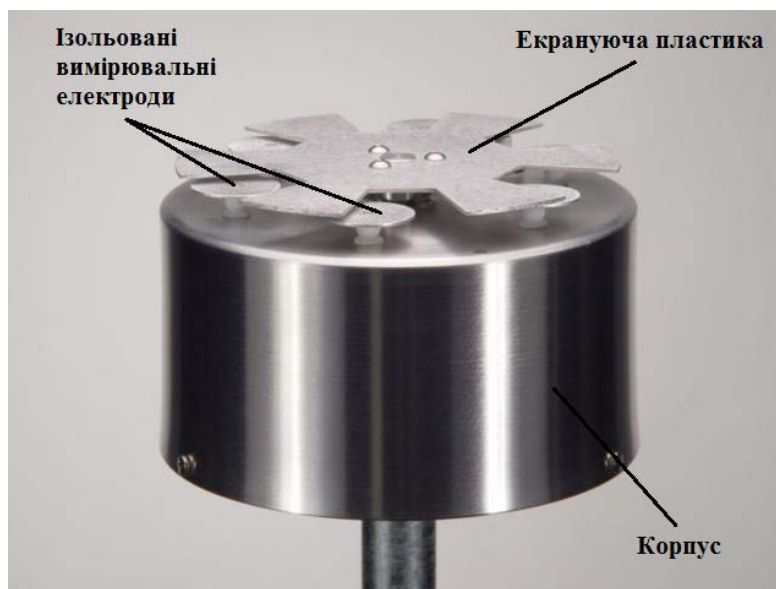


Рисунок 1.3.1 – Зовнішній вигляд флюксометра Voltek EFM-100 [7]

Грозодетектори LD-250 та LD-350 від компанії Boltek вимірюють дальність до грозового розряду на відстані до 480 км (модель LD-250) та 1200 км (модель LD-350), останній із яких здатен диференціювати розряди різних видів блискавки (IC та CG). Більш детальніша інформація про діапазон в якому вони працюють та їх тип антен відсутня.

Таблиця 1.3.1 – Технічні параметри флюксометрів [6]

Параметр	Радіус виявлення, км	Межі вимірювання напруженості E -поля, кВ/м	Похибка виміру напруженості E -поля, %	Час реакції, с
BOLTEK EFM-100 [7]	0–38	± 20	5	0.1
VAISALA EFM550 [5]	–	± 10	5	1
Aplicaciones Tecnologicas ATSTORM [8]	0–20	± 32	–	1

До складу систем попередження про грозову активність від фінської компанії Vaisala входять два основні компоненти [6]:

- вимірювач електричного поля Vaisala EFM550 (принцип роботи аналогічний до датчику Boltek EFM-100);
- датчик грозових розрядів Vaisala TSS928 з системою автоматичного оповіщення про грозу Vaisala ALARM;

Датчик Vaisala TSS928 реєструє не лише електромагнітне випромінення блискавки, але й оптичне, що є доцільно на близьких відстанях (безпосередньо біля об'єкту). Більш детальні характеристики відсутні, лише зазначено, що оптичний датчик реєструє спалах світла від розряду блискавки над місце установки датчика. Ефективність виявлення удару блискавки складає від 90% (при одному розряді) до 99,9% - при трьох розрядах [6].

Компанія Aplicaciones Tecnológicas розробила та запатентувала систему електронного вимірювання напруженості квазістатичного електричного поля, яка отримала назву ATSTORM, параметри якого представлено в таблиці 1.3.1 [6]. Таке рішення дозволяє збільшити надійність системи та завдяки диференційованому сигналу отриманого із двох різних пластин (1) розташованих на різній висоті (d) вимірювальна величина не залежить від висоти встановлення (див. рис. 1.3.2). Оскільки під час посилення вхідного сигналу (V_s) відбувається його інтегрування то для уникнення спотворення сигналу на пластини (2) надсилається інвертований сигнал (V_c), що дозволяє зняти потенціал із пластини (1) як у випадку перекривання рухомих електродом вимірювального в електромеханічних системах.

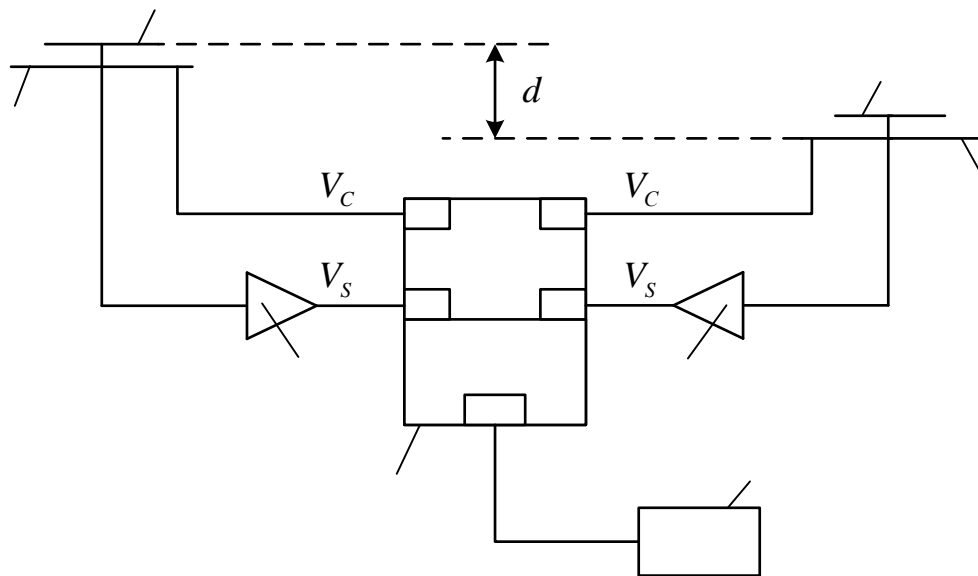


Рисунок 1.3.2 – Диференційна схема вимірювання напруженості електричного поля без використання обертових частин:

- 1 – вимірювальна пластина; 2 – операційний підсилювач; 3 – перетворювач;
4 – допоміжний електрод компенсації; 5 – комп'ютерна система [6]

Варто відзначити, що в Україні ведуться розробки систем попередження про грозову активність. Так, на базі Харківського політехнічного інституту

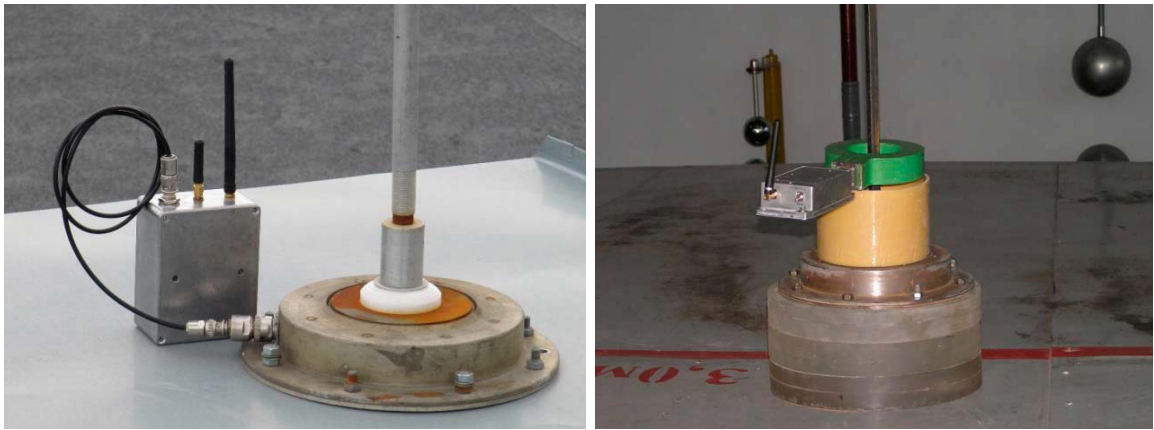
було розроблено датчик для вимірювання напруженості електричного поля Х-1 (див. рис. 1.3.3) [19,20].

Даний тип датчика базується на вимірюванні коронного струму, що протікає крізь стрижень, один кінець із якого підключено до заземленого електроду. Прийомний пристрій складається із стрижня, що дозволяє також відстежувати переміщення грозових фронтів на відстані до 200 км, оскільки являється широкосмуговою антеною [19,20] та системи для реєстрування. В якості такої системи може виступати шунт, що включений між заземленим електродом та самим стрижнем або ж пояс Роговського, що знаходиться на стрижні (див. рис. 1.3.4).



Рисунок 1.3.3 – Електронний пристрій вимірювача напруженості поля (Х-1)
[19]

Інформація із датчику Х-1 може передаватись далі по мережі Інтернет або через локальні системи зв'язку для попередження про наближення грозового фронту.



А

Б

Рисунок 1.3.4 – Схеми вимірювання коронного струму:

А – застосування шунта, що включено у розрив між заземленим електродом та стрижнем;

Б – застосування поясу Роговського [20].

Фізичний принцип дії датчику Х-1 полягає у тому, що стрижень та грозовий фронт, що знаходиться над стрижнем виступає у ролі еквіваленту проміжку «стрижень – площина» із неоднорідним полем, в наслідок чого на загостреній частині стрижня утворюється корона, що продукує протікання струму у даному стрижні, який і вимірюється.

Щодо дальності такого приладу та його ефективності дані не наводяться, оскільки дана система являється прототипом та потребує подальшого доопрацювання та калібрування.

Як можна бачити, системи TWS дозволяють попередити про наближення грозового фронту навіть у випадку коли не відбувався перший розряд блискавки, на відміну від LLS для яких необхідний удар блискавки. А використання власних грозодетекторів дозволяє не прив'язуватись до даних від LLS та діяти локально в межах об'єкту. В той же час такі системи не надають точну інформацію про місце ураження об'єкту за яким ведеться спостереження, що можливо лише за використання систем відеоспостереження і TWS.

1.4 Системи відеоспостереження за блискавкою

Зрозуміло, що для кращого дослідження природи грози необхідний відео моніторинг розрядів блискавок, тому для аналізу блискавок в Китаї було створено високоточну систему (Китайську сітку мережі виявлення блискавок, CGLDN), в якій скомбіновано системи LLS та TWS і їх доповнено високошвидкісною камерою на основі CCD-матриці [6]. Так компоненти LLS дозволяє аналізувати зміни магнітного та «швидкого» електричного поля, створюваного струмом блискавки та оцінювати відстань до розряду, а також проводи класифікацію їх (полярність блискавки, тип розряду, сила струму). Компонент TWS – аналізує зміни «повільного» електричного поля. Високошвидкісні у місці встановлення камери знімають те, як формується лідер та зворотній удар, що допомагає при компонуванні даних із інших датчиків, більше детально аналізувати характеристики блискавки. Відповідно вартість такої комплексної системи є колосальною, та може сягати до 100000\$ за модуль [6], тому застосування таких модулів на відокремлених об'єктах є досить затратно.

Застосування відеокамер допомагає надати найбільш точну інформацію про місце пошкодження об'єкту його характер та наслідки в режимі реального часу. Із цією метою в Китаї було встановлено 25 комплектів системи відео моніторингу блискавок на ЛЕП 500 кВ, що проходить через гірську місцевість, блок схема якої зображена на рис. 1.4.1.

Дана система працює наступним чином: під час спалаху блискавки оптична система на базі фотодіоду реєструє сплеск оптичного випромінення та формує тригеручий імпульс, після якого певна частина кадрів записується на SD карту та відправляється за допомогою 3G модему на центральний сервер. Керує всіма процесами мікрокомп'ютер (CPU SC 2410). Живлення системи забезпечує акумулятор, що заряджається через контролер від сонячної панелі. Отримана інформація зберігається на сервері та може бути

доступна на сайті. Приклади такої інформації та вигляд самої системи представлено на рис. 1.4.2 та 1.4.3.

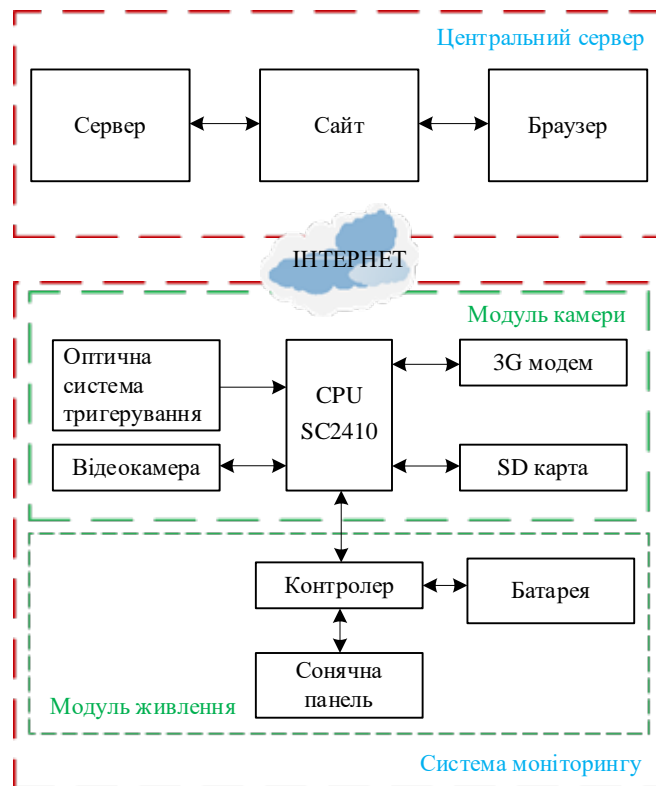


Рисунок 1.4.1 – Блок-схема системи моніторингу з відеореєстрацією блискавок [6]



Рисунок 1.4.2 – Компоненти система моніторингу, які встановлено на опорі ЛЕП 500 кВ [7]



Рисунок 1.4.3 – Кадри грозових розрядів: а – розряд типу СС; б – розряд в ЛЕП 500 кВ; в – розряд типу СГ поблизу ЛЕП 500 кВ [7]

Як можна бачити отримані фото фрагменти дозволяють побачити місце удару та оцінити масштаб пошкодження, що дозволить визначити чи потрібно проводи перевірку даної ділянки лінії. Недоліки такої системи:

- Оптична система тригерування може не спрацювати або спрацювати хибно через забруднення датчику, наявність яскравого фонового світла вдень або неяскравість каналу розряду, обумовленого малим струмом блискавки та сильним дощем, що зменшить кількість світла яке потрапляє на фотодіод.
- Звичайні камери відеоспостереження можуть не зафіксувати момент удару блискавки, що пов'язано із принципом їх роботи, зокрема у випадку відсутності постійної складової струму блискавки тривалість світіння каналу буде складати декілька мікросекунд і даний фрагмент може потрапити у так званий «мертвий час» коли шатр закритий і відбувається зчитування кадру у пам'ять.

Проведенні дослідження та випробовування компонентів системи моніторингу розрядів блискавок на кафедрі ТЕВН НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» показали, що недоліки такої системи можна усунути застосовуючи інші принципи тригерування, а пропуск моменту розряду може бути усунутий застосуванням двох відеокамер, що дозволить перекрити «мертвий час» другою камерою у якій середина тривалості кадру буде збігатись із моментом запису кадру в пам'ять на іншій камері [21].

1.5 Висновки

В даному розділі було проведено аналіз систем на базі LLS та TWS. Було встановлено, що комплекси LLS мають високу точність детектування розрядів – до 99%, але похибка у локалізації місця ураження складає від 0.1 до 0.5 км, що не задовольняє вимоги до системи моніторингу блискавок для окремого взятого об'єкту. В той же час TWS можуть завчасно попередити про наближення грозового та визначити відстань до розряду завдяки грозопеленгаторам (до 1200 км), що працюють за методом MDF. Однак наявність кутової похибки (від 0.5 до 3 градусів) у грозопеленгаторів та застосування лише одного грозодектора не дає точного представлення про характер можливих пошкоджень спричинених ударом блискавки. Використання систем відеоспостереження за грозою допомагає вирішити даному задачу – моніторинг грозової активності для певного об'єкту. Недолік таких систем, що вони використовують лише оптичну систему тригерування запису відео, яка може не спрацювати в силу специфічної природи блискавки. Потрібно також враховувати і специфіку роботи відеокамер, оскільки розряд блискавки є короткочасний процес, який може бути не зафіксований відеокамерою, щоб цього уникнути потрібно спеціальні технічні рішення (використання двох камер із зсувом по часу для окремо взятих кадрів), а також спеціальні налаштування, що обговорюються у [21].

Було встановлено, що найбільша енергія від розряду струму блискавки у проміжку між хмарою та землею спостерігається у діапазоні VLF – від 3 до 30 кГц, що відповідає довжині хвилі 10-100 км. В даному частотному діапазоні працює метод MDF.

Отримана інформація буде використана у подальшому для проектування системи моніторингу блискавок для окремо взятих об'єктів.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ І АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК

В даному розділі описано:

- Розробку концепції і структури системи моніторингу блискавок;
- Характеристику основних її компонентів;
- Розроблені алгоритми роботи даної системи.

Така система буде затребувана для будь-якої галузі, де розряд блискавки може призвести до небезпечних пошкоджень чи аварії. Так, наприклад, у випадку влучання блискавки у лопать вітрогенератора, спочатку може виникнути незначне пошкодження, яке при подальшій експлуатації воно призведе до серйозного руйнування даного елементу або і конструкції споруди в цілому. Розряд блискавки безпосереднього в елементи електричної станції чи підстанцію або ж в СБЗ (система блискавкозахисту) даного об'єкту може викликати пошкодження обладнання, ізоляції тощо.

На таких об'єктах (електричні станції та підстанції, ФЕС) спеціальні системи, що відслідковують ураження блискавками, зазвичай відсутні, а ті що встановлюється (наприклад, пояси Роговського в СБЗ деяких вітрогенераторів, лічильники розрядів на струмовідводах споруд) не завжди зможуть зафіксувати коректно протікання струму по системі блискавкозахисту, наприклад, при наявності лише постійної складової струму блискавки чи у випадку, якщо даний об'єкт має декілька точок під'єднання до контуру заземлення. Отримана із вищезазначених датчиків інформація зможе надати лише інформацію про факт ураження (без визначення місця та характеру пошкодження), в тому випадку коли розряд блискавки прийшовся в компонент СБЗ даного об'єкту. В той же час, якщо удар блискавки відбувся не у компонент системи блискавкозахисту а безпосередньо в об'єкт, згадані вище датчики не нададуть якісну інформацію про цю подію, на відміну від випадку застосування відео системи

моніторингу блискавок. Тому є необхідність у розробці та впровадженні для об'єктів системи *відео* моніторингу та локації (пеленгування) блискавок.

Для тригерування даної системи було вирішення застосувати принцип магнітного пеленгування, який полягає у визначенні кута від місця розряду блискавки до двох ортогонально розташованих антен. Співвідношення вихідних напруг із антен дає кут до місця розряду блискавки. Застосування однієї такої антени не допоможе визначити точне місце, в якому відбулося ураження блискавкою. Тому пропонується використання декількох датчиків магнітного поля (пар антен), вихідна інформація із яких допоможе визначити координати точки розряду завдяки методу тріангуляції.

2.1 Комплексна система

В основі роботи відео системи моніторингу покладений принцип реєстрації місця ураження блискавкою об'єкту за допомогою відеокамер. Для тригерування та підвищення надійності системи ВСМ застосовано модуль, що визначає напрям та здатен оцінити відстань до місця удару блискавки (модуль магнітного пеленгування). Використання даного модулю обґрунтовано тим, що звичайні ІР-відеокамери спостереження можуть пропустити удар блискавки в силу своїх технічних особливостей, що пов'язані із дуже короткою тривалістю імпульсу струму розряду блискавки у випадку відсутності постійної складової у струмі розряду (близько 20% розрядів не мають постійної компоненти у струмі блискавки [21]). Отже, модуль магнітного пеленгування виконує роль тригеруючого елементу. Тригерування системи відеомоніторингу, тобто запис саме в інтервал часу з розрядом блискавки в об'єкт, обумовлено тим, щоби не мати необхідності вести безперервне відеоспостереження за окремими частинами об'єкту (тими, що можуть бути уражені блискавкою), оскільки в такому випадку виникає необхідність у аналізі величезного відеоряду операторами або спеціальними програмними засобами, що вимагає значних матеріальних та

обчислювальних ресурсів. Блок-схема пропонованої комплексної системи представлена на рис. 2.1.1.

Структура і принцип її роботи наступні: під час реєстрації антеною магнітного поля від удару блискавки, вихідний аналоговий сигнал підсилюється та фільтрується (елемент ПС на рис. 2.1.1), після чого поступає на одноплатний комп'ютер через АЦП. Отриманий фрагмент відео (тригерований модулем магнітного пеленгування) надсилається на сервер через модуль зв'язку із міткою часу, отриманою по GPS, де відбувається обробка даної інформації, після чого вона може бути доступною через мережу Інтернет та надіслана на локальну систему попередження.

Фрагмент відео отримують із відеоряду, що циклічно записується в модуль постійної пам'яті. Таке рішення дозволяє зекономити об'єм записуваного відео (оскільки запис відбувається циклічно), а його виокремлення надає точний фрагмент відео із ураженням об'єкту блискавкою з міткою часу, в який момент це відбулося.

Принцип роботи системи тригерування базується на визначенні співвідношення складових вектору магнітного поля, а за ним – кута між антенами магнітного поля (наприклад, рамковими [22]) та місця розряду блискавки. Цей метод має назву магнітна пеленгація – MDF (Magnetic Direction Finding) [22, 23]. В системі тригерування цей метод застосовано для реагування системи реєстрації на розряди саме у об'єкт спостереження.

Метод магнітної пеленгації використовує дві ортогонально розташовані антени (EW та NS, рис.2.1.2) для вимірювання амплітуди магнітного поля, спричиненого блискавкою. Так, вихідний сигнал U_{EW} антени EW є прямопропорційним косинусу кута Θ , а сигнал U_{NS} антени NS – синусу кута Θ . Відношення виміряних амплітуд кожною антеною, може використовуватись для визначення азимуту місця удару блискавки (кута Θ) по відношенню до розташування антен, що дає вектор напрямку. Перетин

двох або більше векторів, що зафіксували один і той же розряд блискавки, дає точне розташування до місця розряду.

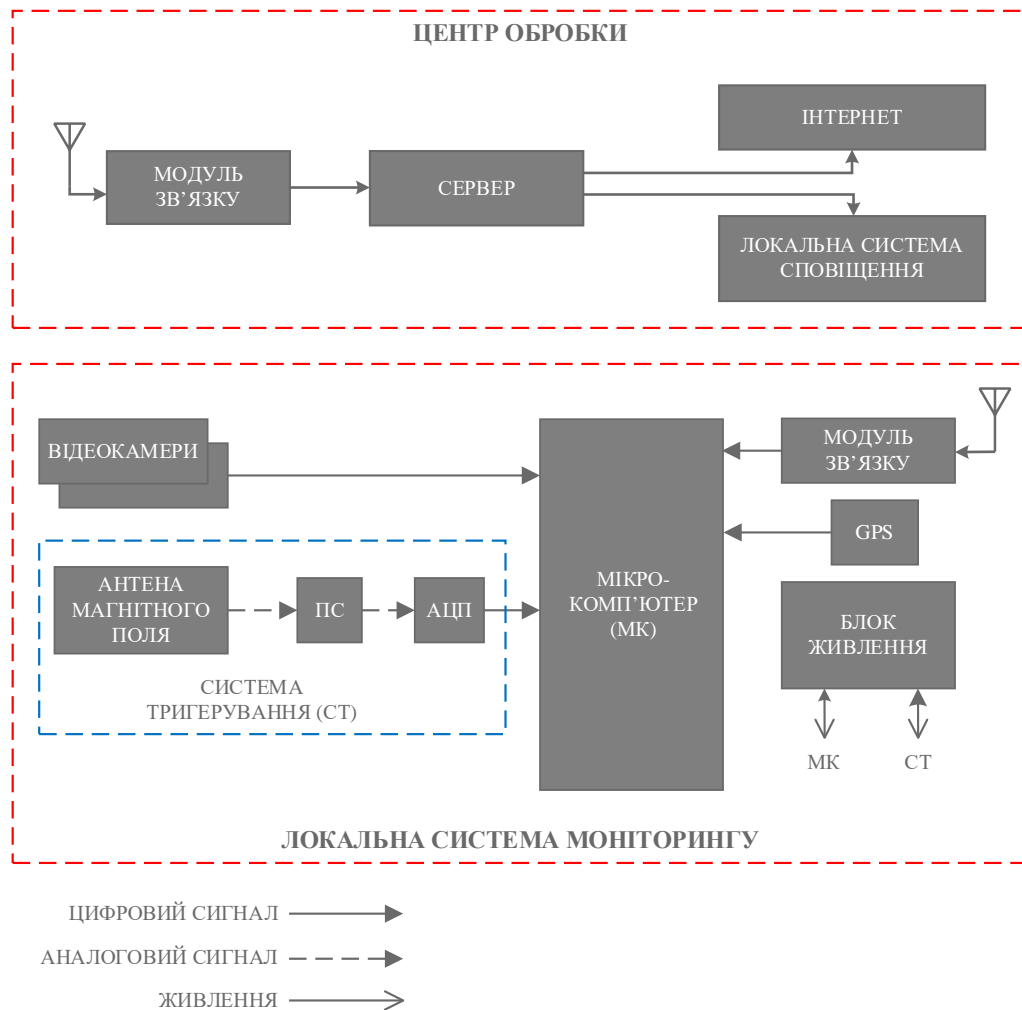


Рисунок 2.1.1 – Блок-схема локальної відео системи моніторингу блискавок:

ПС – перетворювач сигналу; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; GPS – приймач системи глобального позиціонування (Global Positioning System); МК – мікрокомп'ютер; СТ – система тригерування

В якості антен магнітного поля пропонується використання двох феритових антен, що дозволить створити компактнішу систему, ніж у випадку використання двох петливих антен. Даний тип антен являється об'єктом із розподіленими параметрами (наявність ємностей між витками,

між витками та екраном від Е-поля), що призводить до явно вираженого резонансу. Робота у області резонансу не є доцільною. Тому отриманий сигнал потрібно відфільтрувати, попередньо його підсиливши, відповідно до блок-схеми зображеної на рис. 2.1.3.

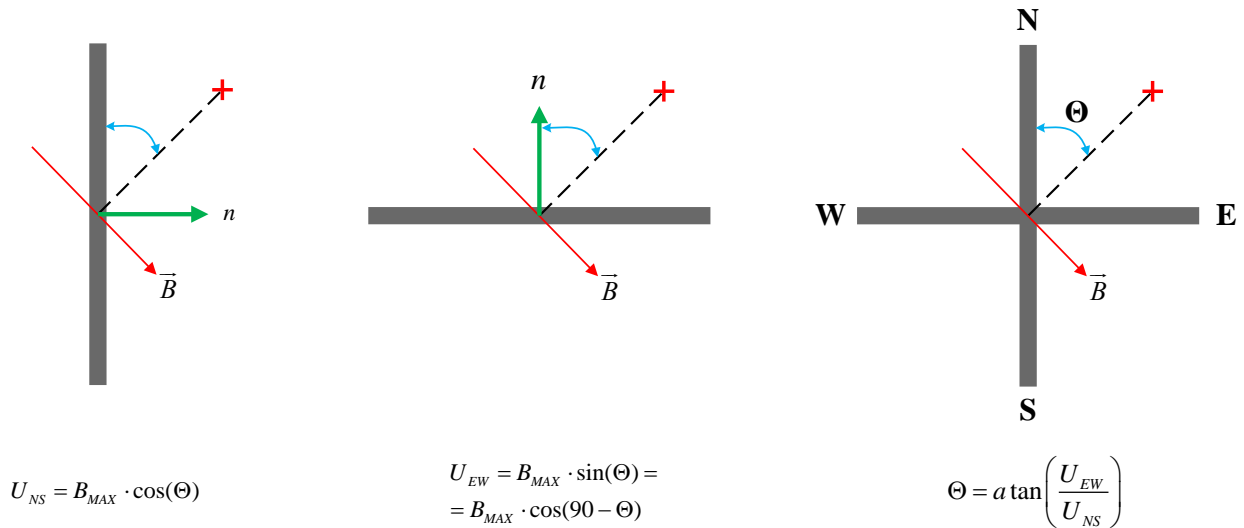


Рисунок 2.1.2 – Знаходження напрямку до місця удару блискавки

Пропонується використання тут пасивного фільтра низьких частот. Він необхідний для того аби відфільтрувати вхідний сигнал (частота зрізу має становити 30 кГц), оскільки феритова антена має точку резонансу (більше ніж 100 кГц [24]). І пасивний фільтр допоможе не заходити в дану область АЧХ. Перш, ніж пройти фільтрування, сигнал посилюється за допомогою операційного підсилювача (ОП) ОР27. Для захисту від можливих перенапруг, що можуть виникнути на антені, застосовано два діоди, що увімкнені між землею та лінією живлення (як показано на рис. 2.1.3, наприклад, 1N4148 [24]). Додатково потрібно встановлення схем ПЗІП (пристроїв захисту від імпульсних перенапруг) на виході антени. Для кожної антени, EW та NS, передбачено дві ідентичні схеми ПС на виході, із яких реєструється напруга U_{EW} та U_{NS} (канал А та В, відповідно).

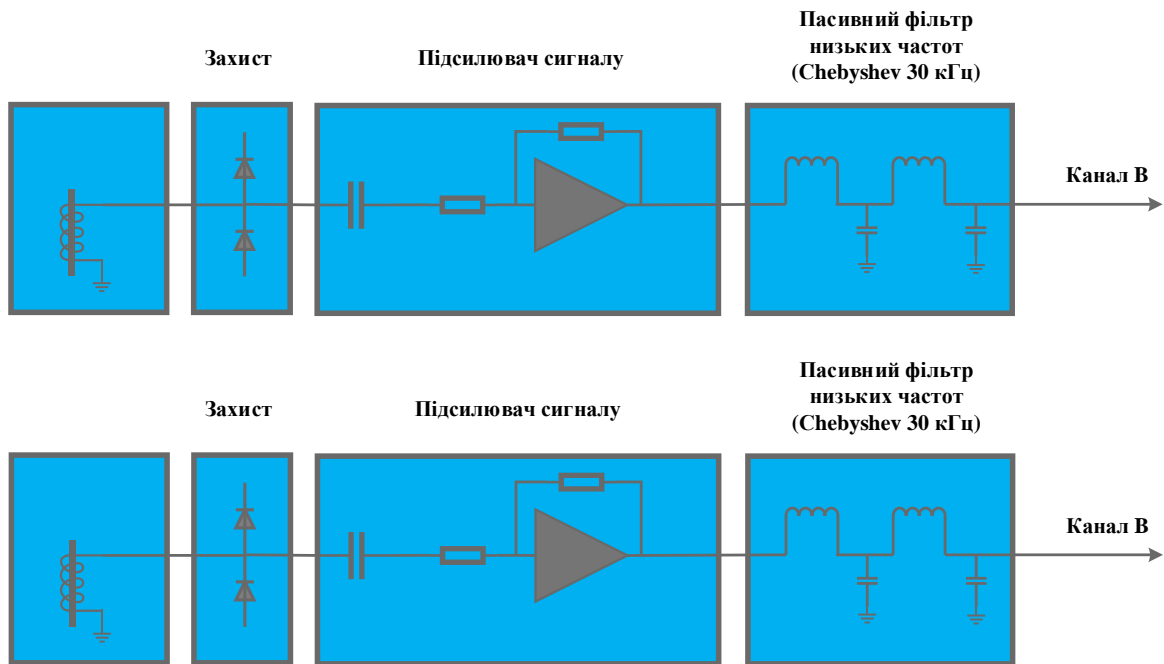


Рисунок 2.1.3 – Блок-схема ПС для системи тригерування

Опис та моделювання фільтрів низької частоти (Low-Pass) і ОП виконано в розділі 3 даної роботи.

Розглянемо принцип роботи системи трегерування. Вважається, що на об'єкті буде розташовано чотири антени-станції, наприклад, у кутах прямокутника (позначені хрестиками на рис. 2.1.4).

У випадку якщо джерело сигналу буде знаходитися у межах контуру розташування датчиків та об'єкту (зони 1 ... 3 на рис. 2.1.4), система моніторингу надішле на сервер мітку часу, в який відбувався удар блискавки та інформацію про напрям даного розряду (кут між антеною та місцем розряду). Тобто у випадку ураження об'єкту блискавкою або безпосередньо біля нього система повинна спрацювати та визначити, що для всіх чотирьох антен азимут, який був визначений за методом MDF, знаходиться в цих зонах. Якщо розряд блискавки відбувся за межами згаданого контуру (зона 4), система не має спрацювати. Для зони 3 у випадку удару блискавки з азимутом перпендикулярним площині однієї антени та паралельним іншій виходить, що сигнал на одній із них буде наближатися до нуля. Даний аспект

повинен бути врахований у алгоритмі роботи системи, пеленгування має здійснюватися усіма антенами, а відповідні розряди повинні позначатися як такі, що можуть призвести до пошкодження об'єкту та виступати в ролі тригеруючу сигналу, як і у зонах 1 та 2.

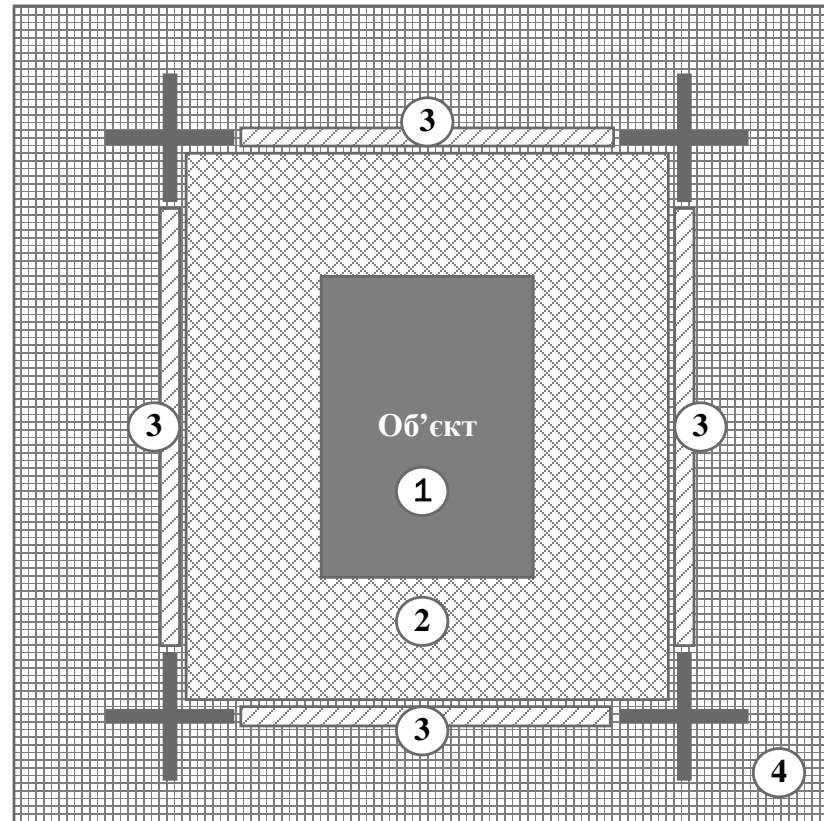


Рисунок 2.1.4 – Схема зон поблизу чотирьох датчиків магнітного поля розташованих навколо об'єкту: 1 – об'єкт спостереження; 2 – зона прилегла до об'єкту; 3 – контур розташування датчиків; 4 – зовнішня зона поза контуром розташування датчиків

Розглянемо алгоритм роботи системи відповідно до рис. 2.1.5.

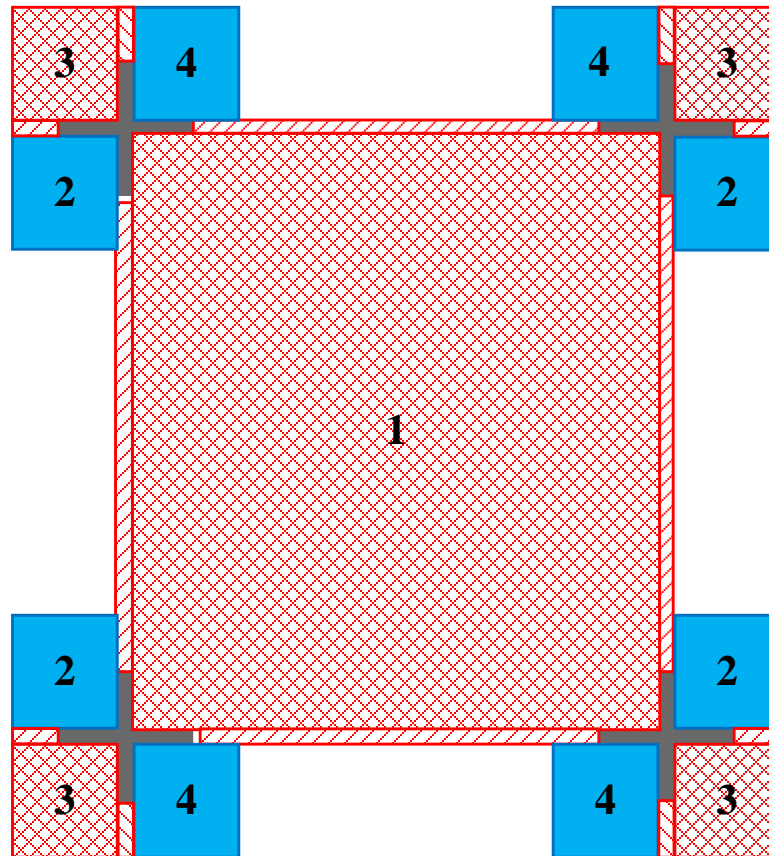


Рисунок 2.1.5 – Схема зон роботи датчиків магнітного поля: 1, 3 – зони у яких фіксуються розряди блискавки; 2,4 – зони які повинні ігноруватись при роботі системи моніторингу

Метод гронопеленгації (MDF) може визначити напрям до розряду блискавки лише в областях: зони 1, 3 та зони 2,4 на рис. 2.1.5. Тобто, отримана інформація по одній станції буде являти пряму на якій відбувся розряд блискавки, але визначити, в якому конкретно секторі (1 чи 3 або 2 чи 4) відбувся розряд блискавки, одна антенна станція не зможе. Проте розташування двох або більше датчиків магнітного поля дозволяє визначити позицію розряду блискавки та відстань до точки ураження (рис. 2.1.6). Визначення відстані відбувається за допомогою методу тріангуляції відповідно до формули 2.1.1 [23].

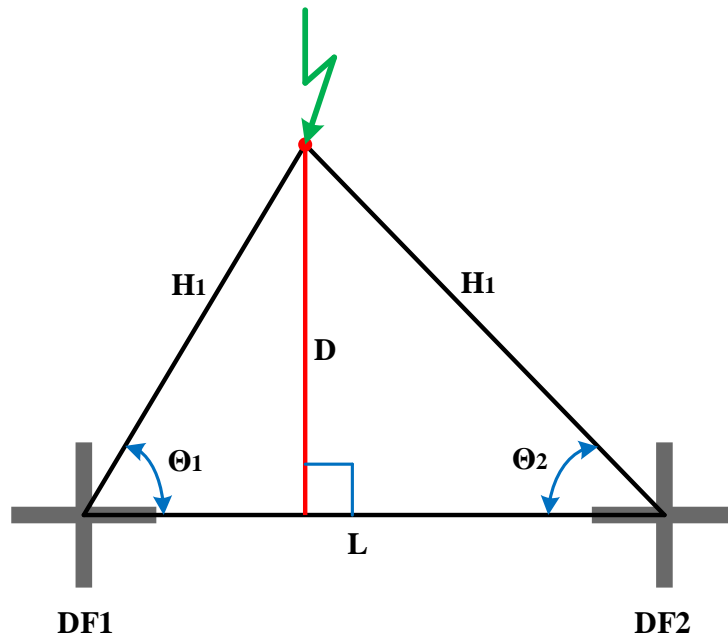


Рисунок 2.1.6 – Визначення відстані методом тріангуляції:

Θ_1 - кут між датчиком DF1 та місцем розряду; Θ_2 - кут між датчиком DF2 та місцем розряду; L - відстань між датчиками DF1 та DF2; H_1 - відстань між датчиком DF1 та місцем розряду; H_2 - відстань між датчиком DF2 та місцем розряду; D - відстань до розряду відносно лінії між двома датчиками DF1 та DF2

Відстань до розряду (D) [23]:

$$D = L \cdot \left[\sin \Theta_1 \cdot \sin \Theta_2 / \sin (\Theta_1 + \Theta_2) \right]. \quad (2.1.1)$$

Також можуть бути обчислені відстані H_1 та H_2 за формулами [23]:

$$H_1 = D / \sin \Theta_1 ; H_2 = D / \sin \Theta_2 . \quad (2.1.1)$$

Алгоритми роботи системи моніторингу показано на рис. 2.1.7 та 2.1.8.

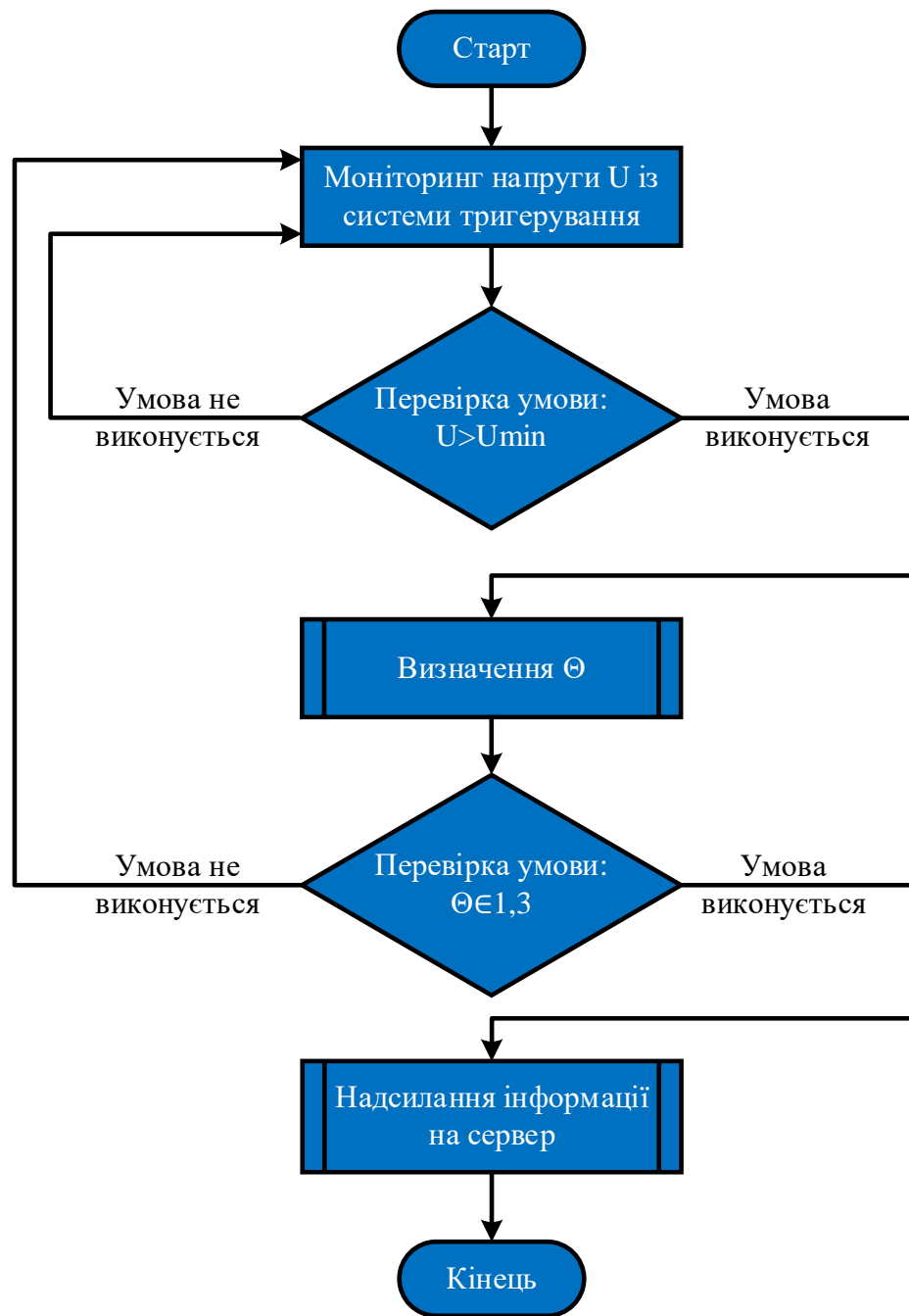


Рисунок 2.1.7 – Блок схема роботи системи моніторингу за блискавками для одного модулю

Відповідно до рис. 2.1.7, система працює наступним чином: при перевищенні напруги на виході антени за мінімальне значення спрацювання (визначається для кожного об'єкту індивідуально, див. розділ 3) відбувається визначення кута Θ , який дає напрям лінії між місцем розряду блискавки та

станцією. Якщо даний кут належить площинам 1 та 3 (див. рис. 2.1.5) то відбувається надсилання інформації та відеофрагменту на сервер.

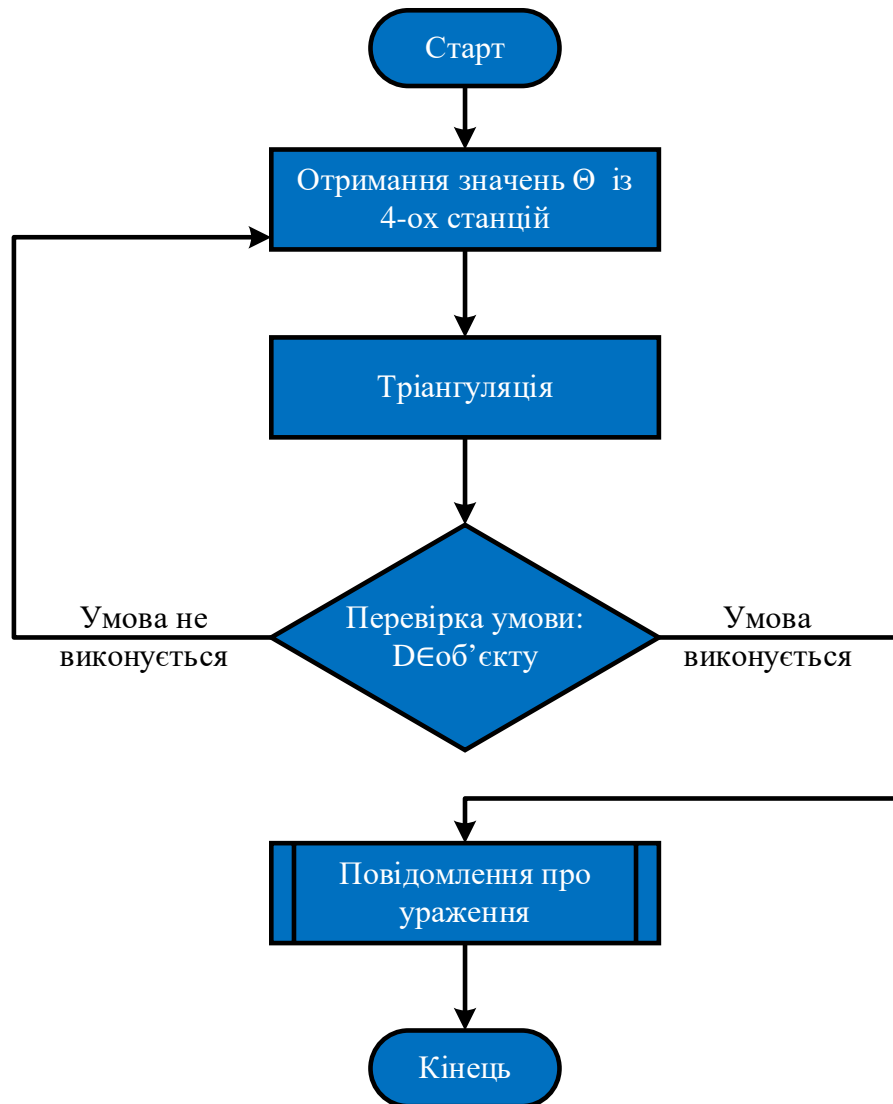


Рисунок 2.1.8 – Блок-схема обробки інформації із чотирьох датчиків на сервері

При близькому розряді блискавки, на антені можливі перенапруги, тому вони повинні обмежуватись за допомогою ПЗП (пристрій захисту від імпульсних перенапруг) та інших компонентів захисту (діоди, резистори). В такому випадку, система повинна надіслати відео фрагмент (тригерування повинно відбутись цією перенапругою – можна проаналізувати сигнал про спрацювання пристроїв захисту від імпульсних перенапруг), але приймати

участь у тріангуляції місця сигналу чи аналізі величини поля та струму дана станція не повинна.

Отримана інформація із чотирьох станцій опрацьовується, визначаються координати точки, в яку відбувся розряд блискавки, та відстань до розряду (рис. 2.1.8). Якщо отримані значення знаходяться в області дії системи моніторингу, тоді надсилається відповідна команда про ураження об'єкту.

Варто відзначити, що дана система моніторингу зможе не лише визначати чи відбулось ураження, але й оцінювати параметри струму блискавки при відповідно написаному програмному забезпеченні, що допоможе якісно оцінити ймовірні пошкодження та збирати статистичні дані про блискавки на об'єкті.

2.2 Спрощена система моніторингу

Часто на об'єктах, зокрема і енергетичних, вже встановлені системи відеоспостереження для забезпечення охорони даного об'єкту чи додаткового контролю технологічних операцій. В такому випадку можливо використання спрощеної ВСМ, в якій використовується мікроконтролер та відсутній модуль ІР-відеокамери (див. рис. 2.2.1). Інформація із даної системи буде містити лише мітку часу в який відбувся удар блискавки, що дозволить виокремити відео фрагмент із всього відеоряду, що був записаний на сервер системи відеоспостереження встановленої на об'єкті. Правда, не всі звичайні відеосистеми дозволяють за своїми технічними характеристиками забезпечити режими реєстрації для запису всіх розрядів блискавок.

Варто відзначити, що спрощену систему можна використовувати взагалі без відеокамер. В такому випадку, якщо система тригерується і зареєструє розряд блискавки в зоні своєї дії, відповідна служба, в яку були надіслані дані, зможе виконати обстеження вже після закінчення грози. Крім того,

звичайно, система магнітної пеленгації буде допоміжною у визначенні координат місця ураження.

У двох вище наведених схемах можливо використання датчиків для вимірювання напруженості квазістатичного електричного поля, що дозволить не лише аналізувати чи було ураження блискавкою об'єкту, але й завчасно попереджувати про наближення грозового фронту або ж надавати інформацію про його зародження безпосередньо над об'єктом.

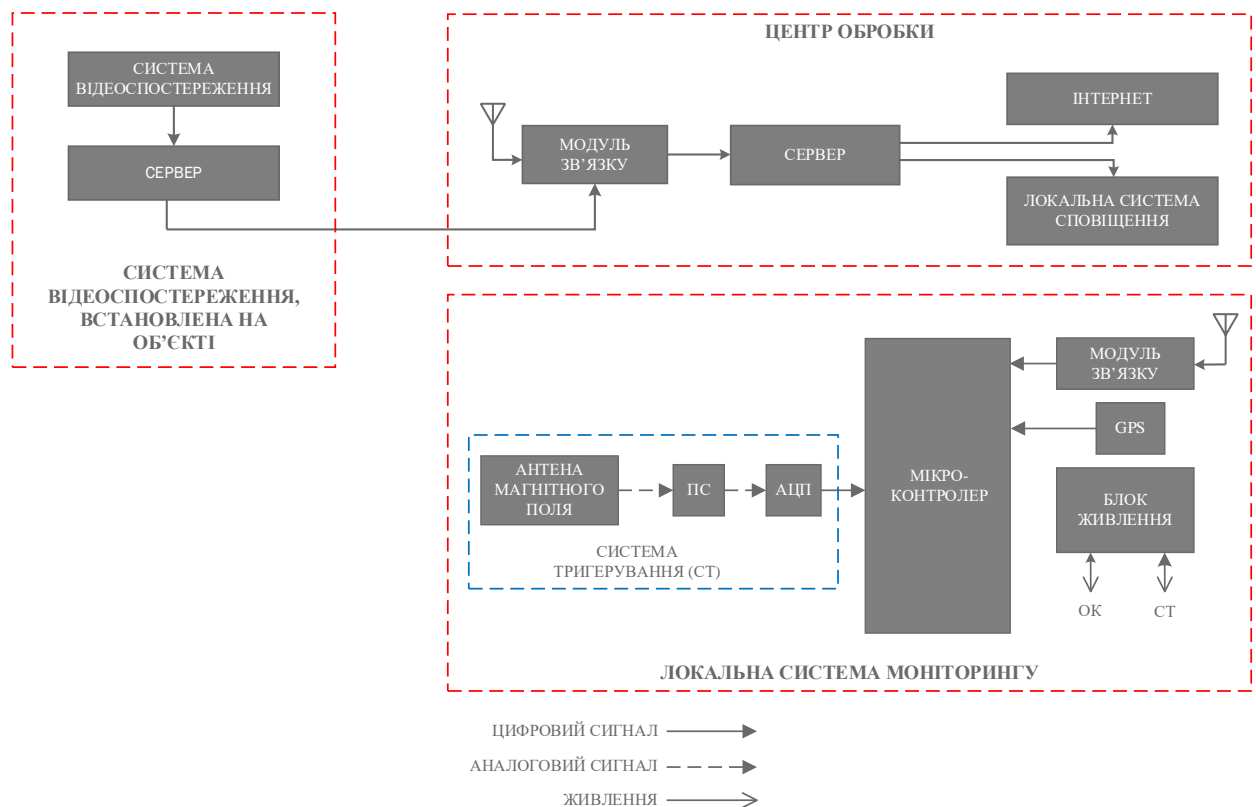


Рисунок 2.2.1 – Блок-схема спрощеної локальної відео системи моніторингу блискавок

2.3 Компоненти системи

2.3.1 Мікрокомп'ютер

В основі локальної системи моніторингу блискавок покладено мікрокомп'ютер RASPBERRY PI 3 MODEL B+ (рис.2.3.1.1) [25]. Даний

мікрокомп'ютер дозволяє не лише підключати цифрову периферію, таку як відеокамери, модеми для зв'язку та інше, але й аналогові датчики, через наявність на борту інтерфейсу введення/виведення загального призначення (англ. General-purpose input/output, GPIO). Обробка відео в реальному часі та різних програм і підпрограм забезпечується завдяки чотирьохядерному процесору ARM Cortex-A53 x64, що працює із тактовою частотою 1.4 ГГц та модулем оперативної пам'яті ємністю 1 Гб. Коротко характеристики одноплатного комп'ютера Raspberry Pi model 3+ наведено в табл. 2.3.1.1.

Наявність 4-ох портів USB дозволяє підключити одночасно IP відеокамери, та модеми для передачі даних. Таке рішення дозволяє використовувати універсальне обладнання, що доступне на ринку, без використання специфічних інтерфейсів та програмних засобів. Варто відзначити, що можливе використання власної відеокамери RASPBERRY PI КАМЕРА 8MP (V2), що підключається через інтерфейс SCI [25]. Це пришвидшує процес обробки відео та здешевлює конструкцію системи, але вимагає захисту модулю камери від впливу дії зовнішнього середовища відповідно до стандарту IP66, оскільки модуль камери виконаний без захисного корпусу.

Підключення системи тригерування (на виході якої після підсилення буде аналоговий сигнал, див. рис. 2.1.3) планується через інтерфейс GPIO. Оскільки на борту Raspberry Pi model 3+ відсутній модуль аналогово-цифрового перетворення (АЦП), потрібно використовувати зовнішній модуль, що зможе забезпечити опорну напругу для АЦП, який повинен мати розрядність не менше ніж 12 біт, та перетворювати напругу до значення 0..3.3 В, оскільки Raspberry Pi працює із 3.3 В логікою. Найкраще для цього використовувати модуль High-Precision AD/DA Board [26], що задовольняє зазначені вище умови.



Рисунок 2.3.1.1 – Мікрокомп'ютер RASPBERRY PI 3 MODEL B+ [25]

Таблиця 2.3.1.1 – Характеристики мікрокомп'ютера Raspberry Pi model 3+ [25]

Процесор	ARM Cortex-A53 x64
Частота/ к-сть ядер	1,4 ГГц/4
ОЗУ	1 Гб
Постійна пам'ять	SD карти об'ємом до 32 Гб
GPIO	40 пінів
USB	4 шт
Ethernet	1 порт Ethernet із підтримкою PoE
Підключення відеокамери	Власний порт для відеомодуля SCI
Енергоспоживання	5 В, 0.7 – 2.5 А (max)
Температурний діапазон роботи	-35...+90 °C

Варто відзначити, що для цієї плати доступне живлення по технології PoE (Power over Ethernet – передача електроенергії по звитій парі), потужністю до 15 Вт. Використання окремого модуля (для підключення зовнішнього джерела живлення) на вході та виході із звитої пари дозволить

передавати потужність до 50 Вт, яка буде використана для живлення системи.

Мікрокомп'ютер працює під Open Sources операційною системою Linux, що дає можливість працювати із безкоштовним програмним забезпеченням. Для мови програмування Python написана бібліотека, що спрощує аналіз відеоряду із відеокамери. Програма, що буде написана на Python, дозволить визначати чи відбувався удар у об'єкт, відповідно до алгоритму, та видавати тригеруючу команду на збереження фрагменту відео.

Для спрощеної системи немає потреби використовувати потужний обчислювальний мікрокомп'ютер, оскільки він повинен лише опрацьовувати сигнали із системи тригерування та надсилати мітку часу по каналам зв'язку. Тому, для цієї задачі було обрано 32-ох розрядний мікроконтролер ARM Cortex-M4F, який має 192 Кбайт оперативної пам'яті і 1 Мб постійної пам'яті та працює із тактовою частотою 168 МГц. Мікроконтролер має три 12-бітні АЦП, які можуть забезпечити пропускну здатність до 1000 кбит/с, а також три апаратних SPI (Serial Peripheral Interface - Послідовний Периферійний Інтерфейс) та UART інтерфейса (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter — універсальний асинхронний приймач/передавач). Енергоспоживання набагато нижче ніж у мікрокомп'ютера та складає 3.3 В із струмом 150 мА у номінальному робочому режимі. Для системи моніторингу пропонується розробка власної плати на основі мікротролера STM32, оскільки використання готової плати для розробки (наприклад, STM32F407G Discovery) не є доцільним через наявність на ній функціоналу, що не буде використовуватись у локальній системі моніторингу, а її використання призведе до здорожчання системи.

2.3.2 Модуль передачі даних

Для зв'язку локальної системи моніторингу із сервером доцільно використовувати модулі, що зможуть забезпечити стабільний та

безперебійний зв'язок між компонентами системи. При виборі модуля зв'язку потрібно враховувати варіанти щодо каналу зв'язку в залежності від характеристик об'єкту (його розташування, наявність власної мережі і т.п.).

Якщо на об'єкті є можливість розташування чотирьох локальних систем моніторингу таким чином, що до точки приєднання до мережі Internet буде менше 100 м, то доцільно використовувати з'єднання за допомогою витой пари. В такому випадку, для комплексної системи моніторингу, немає необхідності у використанні додаткових модулів, оскільки мікрокомп'ютер Raspberry Pi має вбудований Ethernet модем. Для спрощеної системи на базі мікроконтролера STM32 потрібно використовувати зовнішній ETHERNET модуль W5500 від TM RobotDyn (рис. 2.3.2.1), який буде підключено до мікроконтролеру за допомогою SPI інтерфейсу, та працює на 3.3 В логіці (як і STM32). Даний модуль підтримує протоколи TCP/IP стека для передачі даних. Діапазон робочих температур: -40...85 °C [27].

Для зв'язку системи із сервером можна використовувати і оптоволоконні кабелі та модеми у тому випадку, якщо це економічно доцільно або є можливість для прокладання оптичного кабелю по існуючим мережам без великих матеріальних затрат.

У випадку складної інфраструктури об'єкту, де неможливо застосувати два наведених вище варіанти, доцільно використовувати модулі для дальньої передачі даних, наприклад Digi XLR PRO [28], характеристики якого представлено в таблиці 2.3.2.1.

Даний модуль дозволить створити повністю автономну систему моніторингу (у випадку застосування автономного джерела живлення) із максимально можливістю відстанню між датчиками до 150 км.

При використанні модуля Digi XLR PRO із спрощеною системою доцільно виконувати підключення через ETHERNET через модуль W5500.



Рисунок 2.3.2.1 – RobotDyn ETHERNET модуль W5500 [27]

Таблиця 2.3.2.1 – Характеристики модуля для дальньої передачі Digi XLR PRO [28]

Вхідний інтерфейс	Ethernet
Частотний діапазон	ISM 902 to 928 MHz
Швидкість передачі даних	9.3 kbps to 3.2 Mbps
Потужність передачі	До 30 dBm
Дистанція для передачі	Понад 150 км
Швидкість передачі даних	До 3.2 Мб/сек
Чутливість приймача	9.4 kbps: -120 dBm; 141 kbps: -112 dBm; 3.2 Mbps: -98 dBm
Завадостійкість	Має велику завадостійкість в своєму діапазоні роботи частот
Енергоспоживання в режимі прийому	300 mA та 9 V; 230 mA та 12 V; 120 mA та 26 V
Енергоспоживання в режимі передачі	950 mA та 9 V; 840 mA та 12 V; 400 mA та 26 V
Температурний діапазон роботи	-40...+70 °C

2.3.3 Система глобального позиціювання

Модуль системи глобального позиціювання GPS (Global Positioning System) є невід’ємною частиною системи відео моніторингу за блискавками. Його основна мета полягає у наданні точного часу під час фіксування

сплеску магнітного поля створюваного струмом блискавки. Пропонується використання модуля Venus GPS [29] (рис. 2.3.3.1) із зовнішньою антеною, характеристики якого представлено в таблиці 2.3.3.1.



Рисунок 2.3.3.1 – Модуль Venus GPS із зовнішньою антеною [29]

Знання точного часу UTC (Coordinated Universal Time - Всесвітній Координований Час) розряду блискавки дозволить співставляти дані із системи відеомоніторингу з записами систем на базі LLS чи інших.

Точний час фіксування ураження буде міститися у назві відео файлу, який буде надсилатись. Інформація, що отримана із даного модуля по інтерфейсу UART, містить у собі значення мітки часу у форматі даних ASCII.

Під час монтування модуля GPS у корпусі системи необхідно його екранувати та розмістити подалі від силових модулів та ключів. Також даний аспект стосується і зовнішньої антени – її потрібно розташовувати таким чином, щоби відстань до силових ланцюгів (лінії ЛЕП, підстанції), будівель із великою масою металу та іншими антенами була якомога більшою.

Таблиця 2.3.3.1 – Характеристики модуля Venus GPS із зовнішньою антеною [29]

Вихідний інтерфес	UART
Формат даних	NMEA-0183 V3.01 ASCII output
Частота оновлення	20 Гц
Гарячий старт	1 с
Чутливість відслідковування	-165 dBm
Тайминг	60 нс
Точність позиціювання	2.5 м
Антенa	Можливість роботи із активною або пасивною GPS антеною з роз'ємом SMA
Завадостійкість	Можливість виявлення завад
Енергоспоживання	3.3 В та 90 мА
Температурний діапазон роботи	-40...+85 °С

2.3.4 Модуль IP відеокамери

Як було вже відзначено, найбільш повну первинну інформацію про можливе пошкодження об'єкту і його характер зможе надати лише система відео спостереження. Із цією метою в системі моніторингу, пропонується використання саме IP відеокамер, через їх доступність, захищеність, універсальність та простоту роботи.

Варто відзначити, що модулі IP камер повинні мати гнучкі налаштування. Це пов'язано із специфікою роботи та короткотривалим явищем грозового розряду. Звичайні камери здатні лише фіксувати розряди блискавки із наявною у розряді компонентою постійного струму (СС).

Для дослідження роботи IP камер на кафедрі ТЕВН НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» було проведено ряд випробовувань [21], в ході яких встановлювались оптимальні параметри камер (нижній рядок в таблиці 2.3.4.1) для зйомки таких короткотривалих процесів як світіння каналу розряду. Ключові параметри налаштувань IP камер в автоматичному та напіваавтоматичному (ручному) режимах представлено у таблиці 2.3.4.1.

Таблиця 2.3.4.1 – Налаштування для IP камер

Режим налаштування	Частота кадрів, с	Швидкість спрацьовування затвора, с	Експозиція
Автоматичний	25 та 50	авто	авто
<i>Експериментально підібраний (напівавтоматичний)</i>	50	1/50	повна

У більшості випадків автоматично вибраний інтервал часу експозиції T_{E1} може бути помітно меншим, ніж повний час між кадрами T_f (рис. 2.3.4.1). Для камер із частотою 25 або 50 кадрів в секунду T_f становить 40 або 20 мс, відповідно. Якщо постійна компонента струму блискавки відсутня, то в струмі блискавки присутні лише короткотривалі складові (наприклад, зворотній удар (RS), що має тривалість від кількох десятків до сотень мікросекунд) [21].

Коли розряд L_1 відбувається протягом часового інтервалу T_{E1} (часу експозиції в автоматичному режимі), тоді відповідний сигнал буде записаний (оброблений і збережений у пам'яті під час зчитування T_r). Частина часу зчитування T_R (не показано), який можна додати до інтервалу часу експозиції, потрібен для підготовки пікселів матриці, до наступного запису. Через короткочасне існування імпульсного струму та пов'язаного з ним світлового випромінювання, запис буде досить ясним, без розмивання зображення.

Повертаючись до інтервалу часу першого кадру на рис. 2.3.4.1, коли інша коротка подія L_2 (наприклад, другий RS) відбувається у часовому інтервалі поза межами інтервалу експозиції T_{E1} , вона не потрапить на світлочутливу матрицю і не буде записана. Якщо тривалість експозиції буде більшою (T_{E2}), подія L_2 теж може бути успішно зафіксована. Це спрощене пояснення принципу запису є прийнятним у камерах, що мають матриці типу CCD та CMOS, відповідно [21].

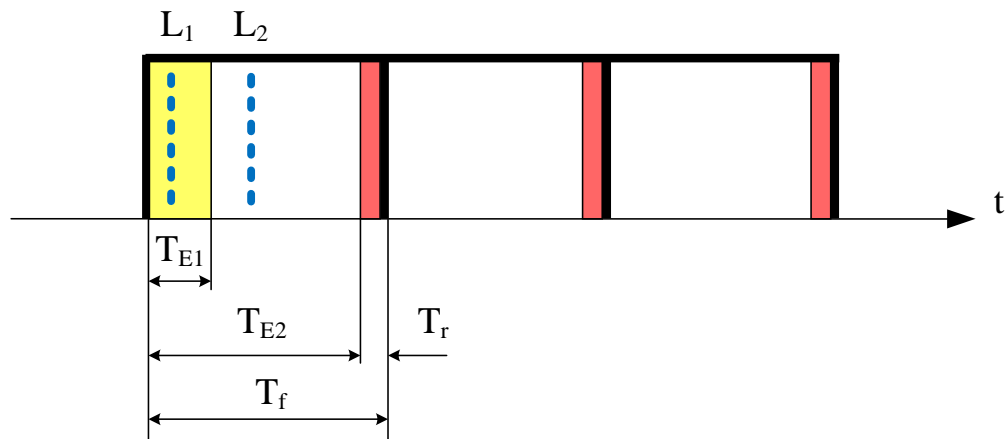


Рисунок 2.3.4.1 – Часова діаграма запису на матрицю IP відеокамери короткотривалих подій (грозових розрядів), де:

L_1, L_2 – короткотривалі події;

T_{E1}, T_{E2} – час експозиції;

T_r – час запису (зчитування кадру в пам'ять) [21]

У сучасних IP-камерах зазвичай застосовуються технології прогресивного сканування та рулонного затвору [21]: пікселі матриці скануються лініями (рядками або стовпчиками) під час фаз експозиції (рис. 2.3.4.2). Час оновлення не показаний окремо на рисунку, тоді як іноді він також може бути включений в такі діаграми [21]. У цьому випадку кожний наступний рядок готується до зчитування з певним зсувом часу у порівнянні з попереднім рядком. Часові інтервали для читання для кожної лінії також зміщені. Таким чином, сумарне значення часу зчитування для кадру становить T_r (рис. 2.3.4.2) [21].

У такому випадку короткочасні події (L_1, L_2, L_3) будуть записані на певні піксельні лінії, якщо вони виникають протягом інтервалу часу, коли зазначені пікселі "відкриті" для експозиції (не червона область на рисунку 2.3.4.2). Якщо припустити, що проекція каналу розряду починається з верхнього краю матриці (див. рис. 2.3.4.2) і потрапляє у інтервал часу повної експозиції $T_{EF} = T_f - T_r$, можна спостерігати наступне: для події L_1 його нижня частина не записується (оскільки нижні рядки не відкриваються для

експозиції при виявленні події L_1); для події L_2 її повна довжина повністю захоплена; і для події L_3 його верхня частина не записується. Експериментальне підтвердження даних випадків наведено в Додатку 1 [21].

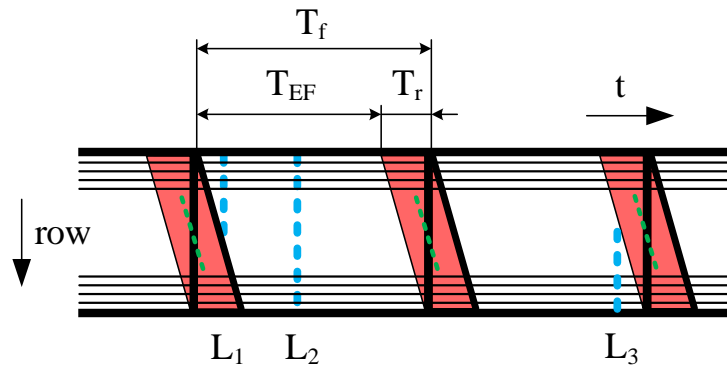


Рисунок 2.3.4.2 – Принцип запису відео на основі технології прогресивного сканування та рулонного затвора у випадку повного інтервалу експозиції (T_{EF}), де:

L_1, L_2, L_3 – розряд блискавки (короткотривалий процес);
 row – зчитування (запис) рядків пікселів в пам'ять відеокамери [21].

Фактичне значення T_r і T_{EF} можна оцінити за спеціальними тестами. Таким чином, налаштування повної експозиції та інших відповідних параметрів роботи (частоти кадрів та швидкості спрацьовування затвора) для звичайної відеокамери дозволяють записувати такі короткі події, як окремий імпульсний удар блискавки [21].

Приклади кадрів із тестування з установками в автоматичному режимі та при оптимальних налаштуваннях ІР відеокамери наведено в Додатку 1. Під час тестувань використовувалось дві камери. Вважається, що така конфігурація допоможе змістити моменти початку запису відео (час початку запису T_r другої камери співпадав приблизно із часом $T_{EF}/2$).

Як можна бачити із отриманих кадрів, при автоматичному налаштуванні присутні кадри нефіксування розряду або реєстрації лише його частини. В той же час при спеціально підібраних і експериментально перевірених

налаштуваннях (які зазначено в таблиці 2.3.4.1) досягається повне або часткове фіксування розряду двома камерами.

Із викладеного вище випливає, що для системи моніторингу можна використовувати будь-яку IP відеокамеру, яка має розширені налаштування, а саме:

- Повинна підтримуватись зйомка при 50 к/с;
- Регулювання експозиції (повна);
- Швидкість спрацьовування затвора (1/50 с);
- Роздільна здатність не менше 1080p.

2.3.5 Модуль живлення системи

Для системи моніторингу пропонується два варіанти організації живлення:

- Автономне (із використанням сонячної панелі та, наприклад, гелевого акумулятора) у випадку відсутності можливості прокладання мережевого кабелю;
- Мережеве (безпосередньо від мережі 220 В) через стабілізований блок живлення 220 В – 12/5/3.3 В.

Сумарне споживання потужності компонентів системи представлено в таблиці 2.3.5.1. Відзначимо, що потужність споживання IP відеокамер не перевищує потужність споживання по технології PoE (15 Вт). Потужність споживання плати ПС, яка включає систему підсилення сигналу на ОП, фільтр низьких частот (рис. 2.1.1 та 2.2.1), буде складати не менш ніж 1.2 Вт (один операційний підсилювач буде споживати ± 12 В та 0.025 А [31]). Для розрахунку було вирішено взяти бачити потужність споживання 5 Вт, що дещо більша за споживану потужність плати ПС, оскільки вона взята із запасом потужності, для забезпечення роботи модуля двохполярної напруги, який буде виконуватись на платі із ОП (втрати на ньому). Точне значення споживання плати ПС буде виміряно та уточнено експериментально.

Кожен із компонентів буде живитись напряму від шини 12 В (через блок стабілізації), окрім мікрокомп'ютера та мікроконтролера. Для них необхідно передбачити використання DC/DC модуля, який буде конвертувати 12 В в 5 В та 3.3 В у випадку автономного живлення від гелевого акумулятору (який найкраще підійде для даних цілей через його невибагливість до перепадів температур та режимів зарядки/розрядки), або окремий вихід на дану напругу на блоці живлення від мережі. При використанні DC/DC модуля (для автономної системи) необхідно враховувати його ефективність. Наприклад, для DC/DC-перетворювача MW SD-15A-5 [32] із вихідною напругою 5В та струмом 3А, ККД становить 68% [32]. Тоді потужність споживання від акумулятора з врахуванням DC/DC-перетворювача MW SD-15A-5 буде складати:

$$P = \frac{P_{\text{модуля}}}{0.68},$$

де: P - сумарне споживання модуля з врахуванням ККД DC/DC-перетворювача (0.68); $P_{\text{модуля}}$ - сумарне споживання модуля.

Дані для розрахунку взяті із розділу 2.3.

Таблиця 2.3.5 – Потужність споживання системи моніторингу

Модуль	Комплексна ВСМ	Спрощена ВСМ
Мікрокомп'ютер або мікроконтролер	18.4 Вт	0.73 Вт
Модуль зв'язку	11 Вт	11 Вт
GPS	0.44 Вт	0.44 Вт
ПС	5 Вт	5 Вт
ІР відеокамера	15 Вт	-
Сумарне споживання	50 Вт	17.2 Вт

2.4 Висновки

В даному розділі було запропоновано комплексну та спрощену відео системи моніторингу блискавок для об'єктів. Так, у першій пропонується використання IP відеокамер, час запису яких буде визначатись системою тригерування, яка базується на методі грозопеленгації (визначення кута та відстані до місця розряду). У випадку наявності системи відеоспостереження на об'єкті доцільно використовувати спрощену систему, яка надсилає лише мітку часу в який момент, ймовірно, відбулося ураження.

Було запропоновано використання схеми пасивного фільтра низьких частот в блоці ПС (рис. 2.1.1 та 2.2.1), який обрізає смугу пропускання (частота зрізу становить 30 кГц), що обумовлено необхідністю зрізання сигналу до частоти меншої, ніж резонансна частота феритової антени, аби уникнути спотворень сигналу на виході антени і в подальшій схемі.

Запропоновано алгоритми роботи системи.

Наведено основні характеристики компонентів системи відео моніторингу блискавок для об'єктів із зазначенням основних технічних характеристик, що забезпечать стабільну роботу системи.

Визначено енергоспоживання систем. Комплексна система відео моніторингу споживає 50 Вт, спрощена – 17.2 Вт.

3. МОДЕЛЮВАННЯ МОДУЛЯ ТРИГЕРУВАННЯ

В даному розділі проводиться аналіз та моделювання процесу роботи модуля тригерування для відео системи моніторингу. Для виконання даної задачі необхідно:

- Розробити антену для реєстрування магнітного поля створюваного розрядом блискавки;
- Спроектувати операційний підсилювач та фільтр низьких частот;
- Сформувати мінімальні параметри вихідного сигналу для тригерування моменту запису відео.

3.1 Антена магнітного поля

Для створення компактної системи відео моніторингу блискавок, що уражають об'єкти було вирішено використовувати компактні феритові магнітні антени. Таке рішення не вимагає багато місця для встановлення та дозволить розташувати її в будь-якій точці об'єкту (наприклад, для магнітної антени із коаксіального кабелю, її діаметр становить 1800 мм [24]).

В якості антени пропонується використання феритової антени із параметрами зазначеними в таблиці 3.1.1, яка застосовувалась в проекті Blitzortung [24]. Кількість витків для досягнення заданої індуктивності визначалась відповідно до рекомендацій наведених в [33].

Визначимо напругу на магнітній антені за формулою [34]:

$$U = Eh_0Q, \quad (3.1.1)$$

де: E - напруженість електричного поля, В/м;

h_0 - ефективна висота антени, м;

Q - добротність контуру;

Таблиця 3.1.1 – Параметри феритової магнітної антени

Геометричні розміри	Марка проводу	Магнітна проникність феритового стрижня, μ_o	Кількість витків, w	Індуктивність, L	Добротність, Q
$\varnothing 10$ мм; $l=200$ мм	AWG26	2000	476	22.5 мГн	125

Як можна бачити, ефективність магнітної антени залежить від добротності контуру та ефективної висоти антени. Діюча висота магнітної антени набагато менша ніж у рамкової, але в той же час добротність набагато більша [34].

Ефективна висота для феритової магнітної антени становить [34]:

$$h_o = \frac{2\pi w S \mu_o}{\lambda} k p \cdot 10^{-4}, \quad (3.1.2)$$

де: w - кількість витків;

S - площа поперечного перерізу феритового стрижня, см²;

μ_o - відносна магнітна проникність феритового стрижня;

k - коефіцієнт, що залежить від відношення довжини котушки до довжини сердечника (визначається відповідно до рис.47 [34]);

p - коефіцієнт, що враховує зміщення котушки відносно середини сердечника (визначається відповідно до рис.48 [34]);

λ - довжина хвилі, м.

Зазначимо в табл. 3.1.2 наступні значення величин для обчислення ефективної висоти антени (відповідно до табл. 3.1.1 та рис. 47-48 [34]):

Таблиця 3.1.2 – Значення параметрів для визначення h_o

Площа поперечного перерізу сердечника, см^2	$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \pi \cdot (0.5)^2 = 0.785$
Відношення довжини котушки до довжини сердечника	$k = 0.7$
Коефіцієнт, що враховує зміщення котушки відносно середини сердечника	$p = 1$
Довжина хвилі (прийнята для середнього значення діапазону VLF), м	$\lambda = 17000$

Ефективна висота становить:

$$h_o = \frac{2\pi \cdot 476 \cdot 0.785 \cdot 2000}{17000} \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0.019 \text{ м.}$$

Змоделюємо АЧХ для даної антени в САПР Micro Cap 10. Для моделювання використаємо данні із таблиці 3.1.1. Опір проводу марки AWG26 взятий із відкритих джерел та становить 0.134 Ом/м, що при 476 витків на сердечник $\varnothing 10$ мм дає 2 Ом. Схема заміщення магнітної антени була описана в роботі [7] і яка показана на рис. 3.1.1. Результати моделювання наведено на рис. 3.1.2.

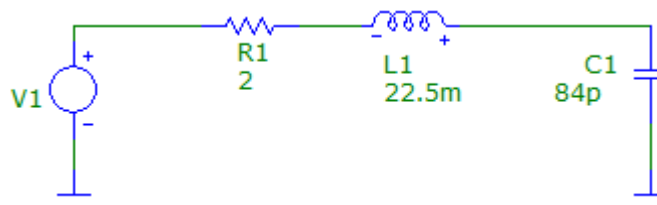


Рисунок 3.1.1 – Схема заміщення, що моделювалась в середовищі Micro Cap 10, де: R1, L1 – опір та індуктивність схеми заміщення магнітної антени;

C1 – конденсатор для налаштування точки резонансу антени; V1 – еквівалентне джерело, що використовується для визначення АЧХ схеми

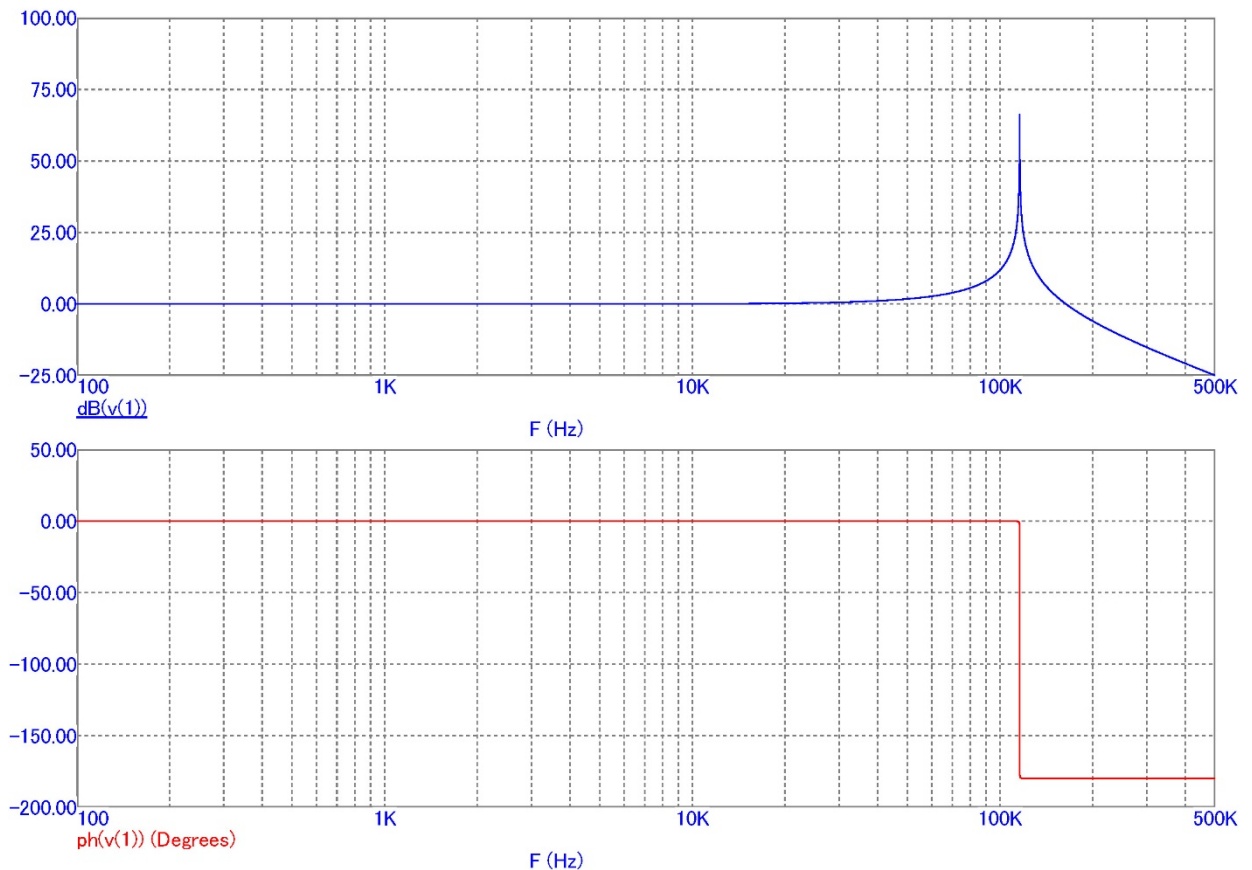


Рисунок 3.1.2 – Результати моделювання, де: синім показано АЧХ; червоним ФЧХ для магнітної антени

Як можна бачити із рисунку 3.1.2, смуга пропускання становить 180 кГц. Частота резонансу на якому вхідний сигнал змінює форму сигналу (відповідно до ФЧХ) – 115.7 кГц.

Напруженість електричного поля створюваного струмом блискавки, значення якої використовується у (3.1.1), визначається відповідно до формули [35]:

$$E(r,t) = E_E(r,t) + E_I(r,t) - E_R(r,t), \quad (3.1.3)$$

де: E_E - електростатична компонента поля;

E_I - індукційна компонента компонента поля;

E_R - радіаційна компонента поля;

r - відстань від основи каналу до точки спостереження Р (див. рис. 3.3.3);

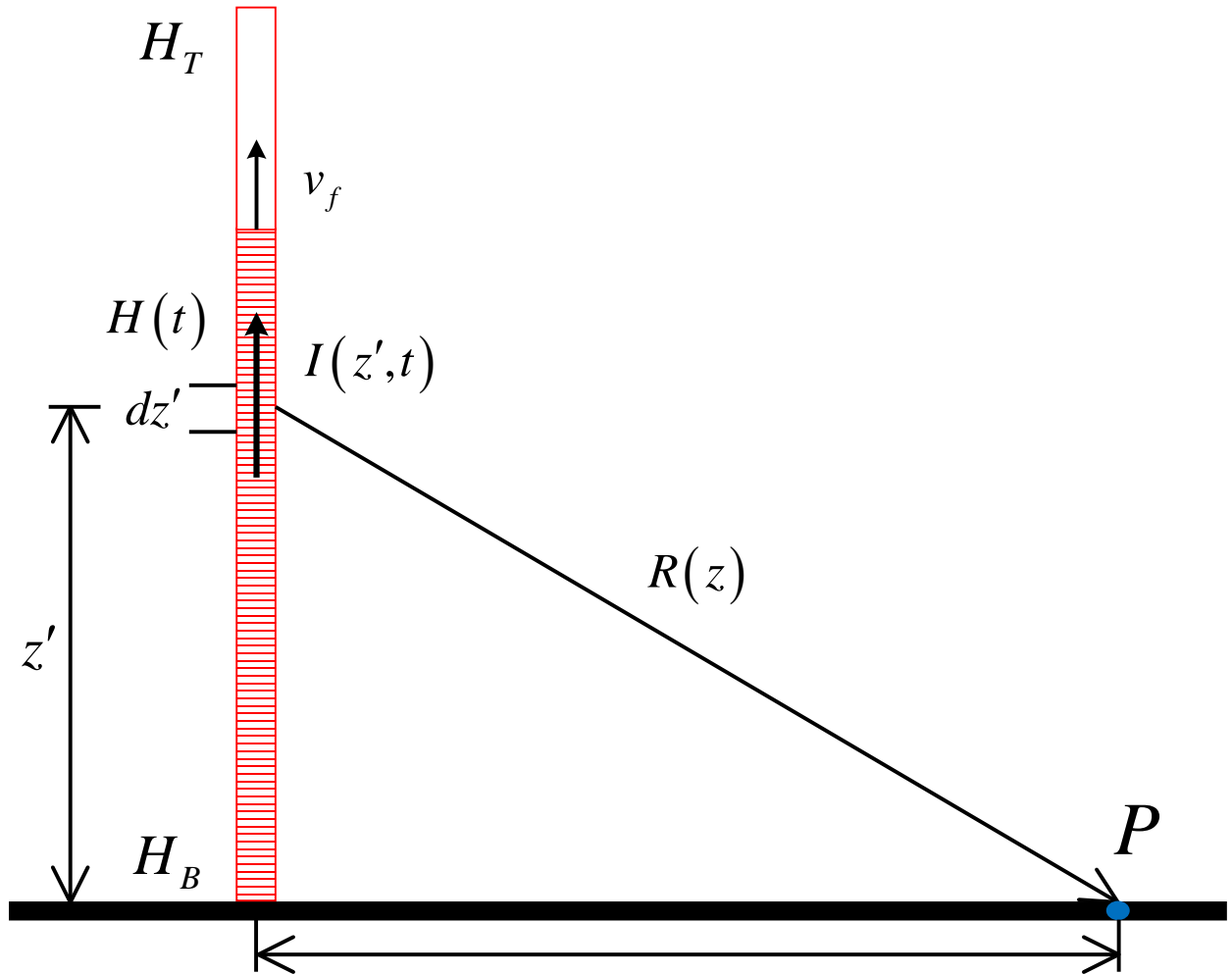


Рисунок 3.1.3 – Ескіз вертикального каналу зі струмом до розрахунків електричного та магнітного полів блискавки у точці Р на рівні землі [35]

Електростатична компонента [35]:

$$E_I(r, t) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \int_{H_B}^{H_T} \frac{2z'^2 - r^2}{R(z', r)^5} \cdot \int_0^t I\left(z', t - \frac{R(z', r)}{c}\right) dt dz', \quad (3.1.4)$$

де: ϵ_0 - діелектрична константа;

H_T , H_B - висота каналу блискавки, та висота основи відповідно, м;

c - швидкість світла;

z' - висота каналу відносно точки спостереження Р;

$R(z', r)$ - відстань від поточного елемента каналу зі струмом до точки спостереження поля;

$t - \frac{R(z', r)}{c}$ - враховує ефект «запізнення» поля у точці спостереження Р

відносно змін струму в каналі розряду блискавки.

Індукційна компонента [35]:

$$E_I(r, t) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \int_{H_B}^{H_T} \frac{2z'^2 - r^2}{cR(z', r)^4} \cdot I\left(z', t - \frac{R(z', r)}{c}\right) dz', \quad (3.1.5)$$

Радіаційна компонента поля [35]:

$$E_I(r, t) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \int_{H_B}^{H_T} \frac{r^2}{c^2 R(z', r)^3} \cdot \left(\frac{dI\left(z', t - \frac{R(z', r)}{c}\right)}{dt} \right) dz'. \quad (3.1.6)$$

Апроксимація струму блискавки на основі моделі MTLL [35]:

$$I(z', t) = u\left(z', t - \frac{z'}{v}\right) \cdot P(z') \cdot I_0\left(0, t - \frac{z'}{v}\right), \quad (3.1.7)$$

де: $u\left(z', t - \frac{z'}{v}\right)$ - функція Гевісайда;

$P(z')$ - коефіцієнт затухання струму для моделі MTLL;

$I_{\sigma}\left(0, t - \frac{z'}{v}\right)$ - формула для апроксимації струму блискавки.

Коефіцієнт затухання струму для моделі MTLL [35]:

$$P(z') = 1 - \frac{z'}{H}, \quad (3.1.7)$$

Де: H - висота каналу блискавки.

Функція Гевісайда [35]:

$$u(z', t) = \Phi\left(t - \frac{z'}{v_f}\right), \quad (3.1.8)$$

Де: v_f - швидкість поширення фронту ЗУ;

Формула для апроксимації струму блискавки [36]:

$$I_{\sigma}(z', t) = i_m \eta (\exp(-a_1 t) - \exp(-a_2 t)), \quad (3.1.9)$$

i_m - амплітудне значення струму блискавки, А;

η - поправочний коефіцієнт;

a_1, a_2 - параметри, що визначають амплітудно-часові характеристики.

Поправочний коефіцієнт [36]:

$$\eta = \frac{1}{\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{a_1}{a_2 - a_1}} - \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{a_2}{a_2 - a_1}}}. \quad (3.1.10)$$

Параметри, що визначають амплітудно-часові характеристики [36]:

$$a_1 = \frac{0.7}{T_2}; a_2 = \frac{2.3}{T_1}, \quad (3.1.11)$$

де: T_1 - тривалість фронту імпульсу, мкс;

T_2 - тривалість імпульсу, мкс.

Під час експлуатації, щоб уникнути дії електростатичного поля створюваного розрядом блискавки, феритова антена екранується не замкненим металевим екраном (див. рис. 3.1.4), який заземлюється. Таке рішення дозволить пропустити дві інших компоненти $E_I(r,t)$ та $E_R(r,t)$ електричного поля, але не електростатичну $E_E(r,t)$. Пластикові труби необхідні для надання антенам міцності, оскільки феритові стрижні є ламкі.

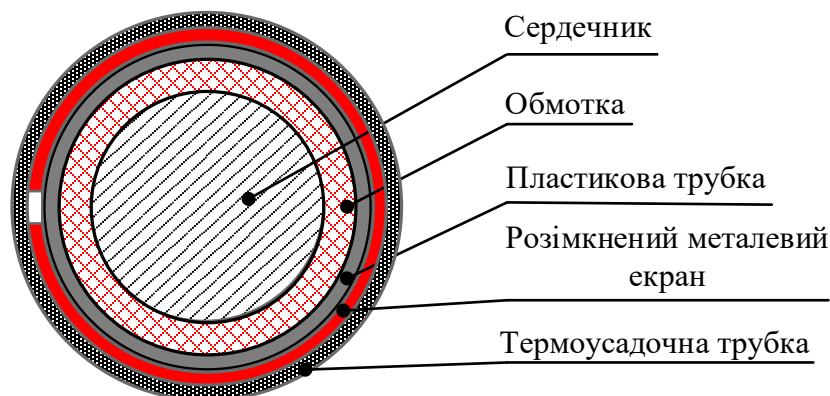


Рисунок 3.1.4 – Поперечний переріз феритової антени та схема розташування основних її елементів

Пропонується, що верхній діапазон частот роботи грозопеленгатора (системи тригерування) буде складати 30 кГц, що буде досягнуто за допомогою фільтра низьких частот. Відповідно до рис. 3.1.2, дана частота (30 кГц) не знаходиться в області резонансу, тому не враховуємо добротність контуру, який буде визначати напруги на виході антени при частоті сигналу 115.7 кГц.

Тоді з формул (3.1.1) та (3.1.3) отримуємо:

$$U(r, t) = [E_I(r, t) - E_R(r, t)] \cdot h_0. \quad (3.1.12)$$

Зображення геометрії моделі для розрахунку за формулами (3.1.2 – 3.1.12) показано на рис. 3.1.5.

Параметри для моделювання вихідного сигналу із антени та системи тригерування повинні визначатись для кожного об'єкту індивідуально із статистичних даних від систем LLS та генерального плану об'єкту, серед яких:

- Розташування об'єкту та розміщення на ньому локальної системи моніторингу для блискавок (координати точок встановлення антен системи тригерування;
- Амплітуди струмів;
- Часові характеристики (тривалість фронту та імпульсу);
- Полярність блискавок.

Отримана інформація дозволить якісно оцінити мінімальні параметри для спрацювання системи тригерування, що зменшить ймовірність хибного спрацювання та не спрацювання.

В даному розділі пропонується розглянути вихідний сигнал із магнітної феритової антени для об'єкту, який має розміри 500x500 м (див. рис. 3.1.5). Таке рішення аргументоване тим, що максимальна похибка для систем на базі LLS складає 500 м, і тому встановлення даної системи допоможе захистити об'єкт.

Розглядається визначення вихідної напруги для антени NS (див. рис. 3.1.5) у випадку удару блискавки із мінімальною амплітудою струму в точках та на відстанях, що відзначені червоною лінією.

Відстань від місця розташування антени була визначена виходячи із геометрії об'єкту за елементарними геометричними співвідношеннями. Вихідний сигнал із антени окрім амплітуди струму, є функцію від кута Θ (див. рис. 2.1.2) та відстані до розряду r який і визначає значення напруги,

що індукується на антені. В такому випадку формула (3.1.12) набуває вигляду:

$$U(r, t, \Theta) = [E_I(r, t) + E_R(r, t)] \cdot h_0 \cdot \cos(\Theta), \quad (3.1.13)$$

де: Θ - кут між нормаллю до антени та місцем розряду.

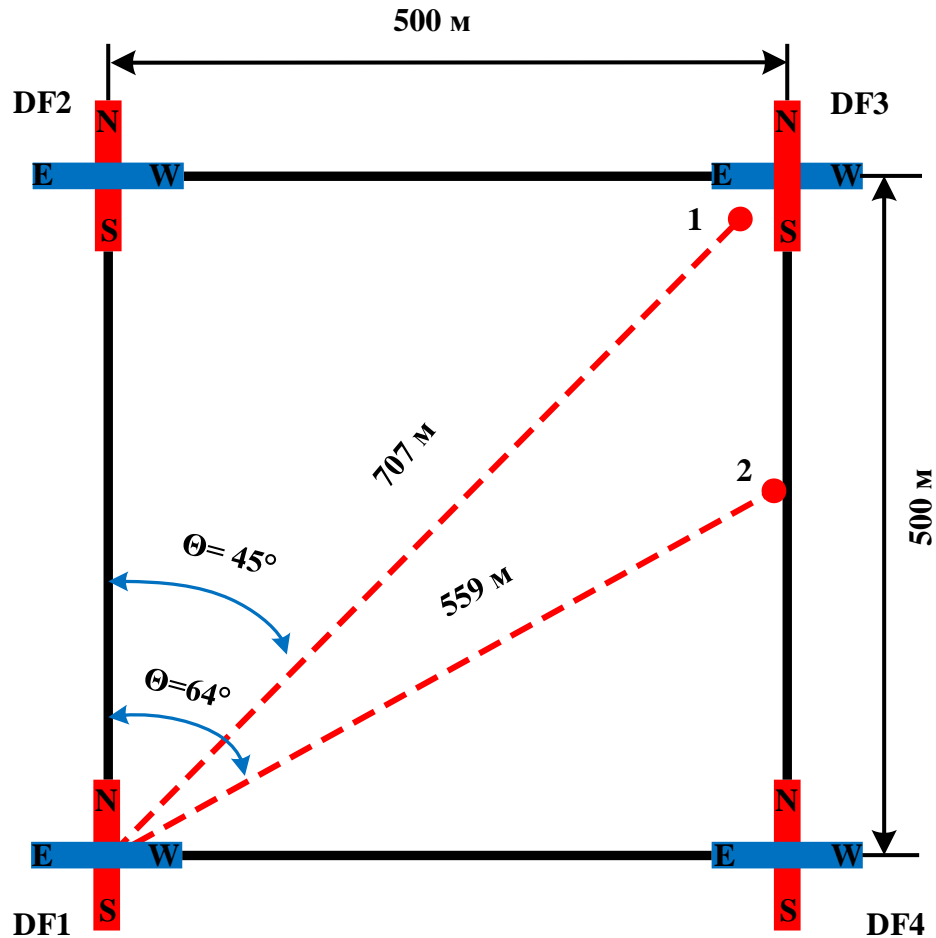


Рисунок 3.1.5 – Геометрична модель розташування датчиків на об'єкті для визначення вихідного сигналу із антен об'єкту, де: DF1-DF4 датчики (антени) системи тригерування; точки 1 та 2 – місце ймовірного розряду блискавки

Необхідно знайти таке значення напруги для запуску процесу тригерування, при якому найбільш віддалена станція від місця розряду змогла б зафіксувати цю подію. Наприклад, для антени DF1 – це буде

відстань, що знаходиться на діагоналі до даної станції (точка 1 на рис. 3.1.5, тобто біля антени DF3, для якої напруга буде набагато більша, ніж для DF1 через малу відстань до точки розряду). Оскільки вихідний сигнал залежить від кута між точкою розряду та антеною, було обрано для розрахунку точку 2, яка знаходиться між двома станціями DF4 та DF3, щоби показати залежність вихідної напруги для антени NS датчику DF1 від значення кута Θ . Для антен NS цих станцій індукована на них напруга буде велика, бо $\Theta = 0^\circ$, а для EW близька до нуля – $\Theta = 90^\circ$, а відстань – 250 м; тому напруга на антенах NS станцій DF4 та DF3 буде набагато більша ніж для антени NS станції DF1.

Отже, моделювання вихідної напруги виконувалось для антени NS (датчика DF1 рис. 3.1.5). Для антени EW напруга пропорційна до $\cos(90^\circ - \Theta)$. У першому випадку (точка 1) напруга для неї буде такою ж, як і для антени NS, бо $\Theta = 45^\circ$. У другому випадку (точка 2) на антені EW індукується більша напруга ніж на NS, бо $\cos(90^\circ - 64^\circ) > \cos(64^\circ)$

Для того аби оцінити масштаби значень індукованої напруги на антені було вирішено розрахувати її для трьох значень параметрів струму блискавки: мінімальних, 50% значень, та 5% значення, параметри яких представлено в таблиці 3.1.3, відповідно до [7].

Таблиця 3.1.3 – Параметри струму блискавки для моделювання [7]

Параметр	i_m , кА	T_1 , мкс	T_2 , мкс
Мінімальний	2	1.2	50
50% значення	30	5.5	75
5% значення	80	18	200

Для визначення максимальної напруги, яка може індукуватись на магнітній антені, припустимо, що удар блискавки відбувся перпендикулярно

($\Theta = 0^\circ$) до антени NS та на відстані 5 м від та неї (наприклад, датчик DF1 на рис. 3.1.5).

Додаткові параметри, що використовувались для моделювання відповідно до формули (3.1.13), представлено в таблиці 3.1.4 [35, 36].

Таблиця 3.1.4. Вихідні параметри для моделювання

Параметр	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Швидкість світла	c	м/с	$3 \cdot 10^8$
Швидкість поширення хвилі струму	v	м/с	$0.2 \cdot c = 6 \cdot 10^7$
Швидкість поширення фронту ЗУ	v_f	м/с	$6 \cdot 10^7$
Висота основи	H_B	м	0
Висота каналу блискавки	H_T	м	3000
Повна висота каналу блискавки	H	м	3000

Розрахунок виконувався в системі автоматизованого проектування Mathcad 15, під час якого обчислювалось електричне поле, що створювалось на даній відстані та індукована напруга на антені, відповідно до геометрії представленої на рис. 3.1.5. Результати розрахунків напруженостей електричного поля та вихідних напруг із антени магнітного поля для різних відстаней і азимутів до блискавки показано на рис. 3.1.6 – 3.1.23.

Нижче проведено розрахунок мінімальної напруги на виході із антени.

Отриманий параметр вихідної напруги буде слугувати мінімальним значенням на виході із антени для запуску процесу тригерування.

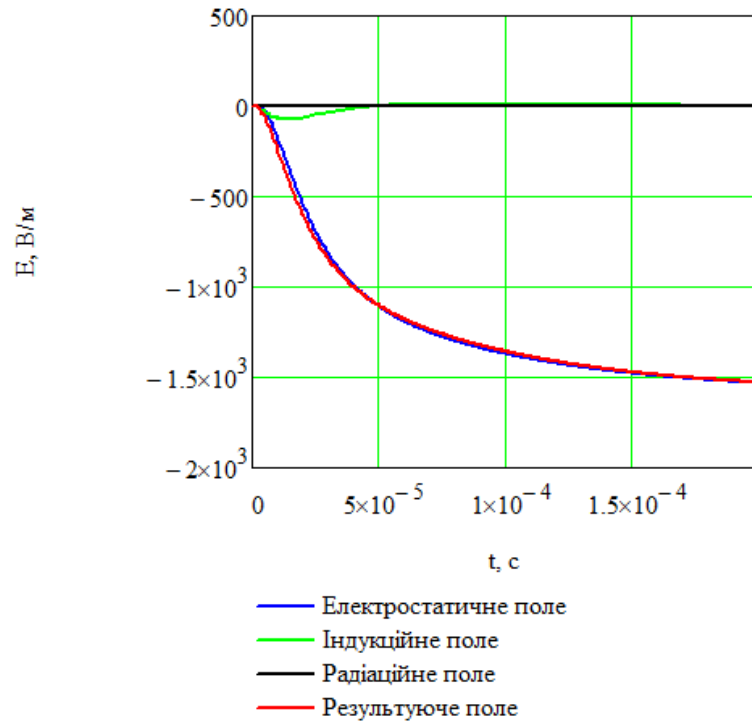


Рисунок 3.1.6 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 707$ м для струму блискавки $i_m = 2$ кА та форми 1.2/50 мкс

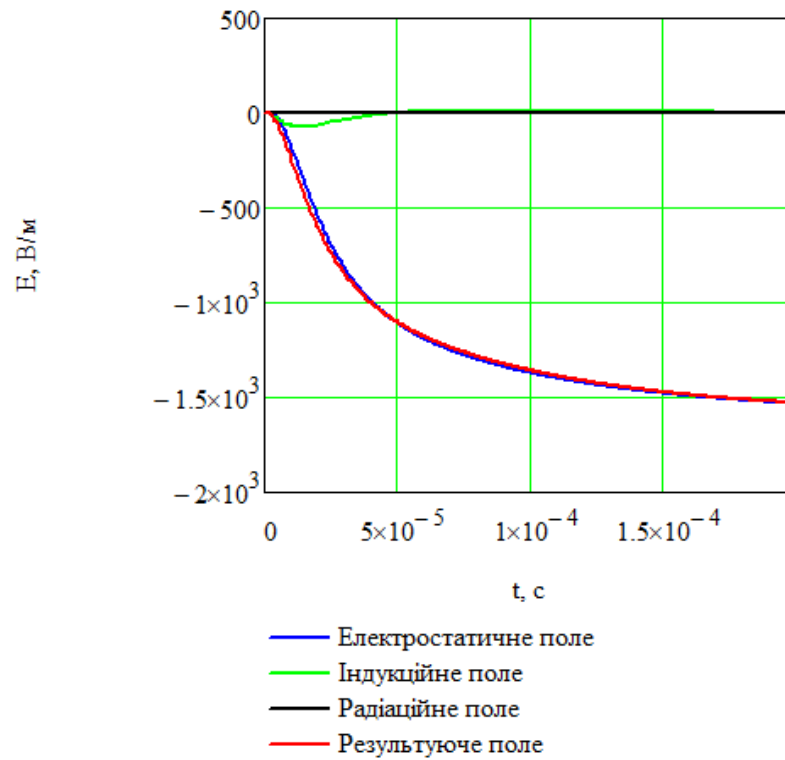


Рисунок 3.1.7 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 559$ м, струмом блискавки $i_m = 2$ кА та імпульсом 1.2/50 мкс

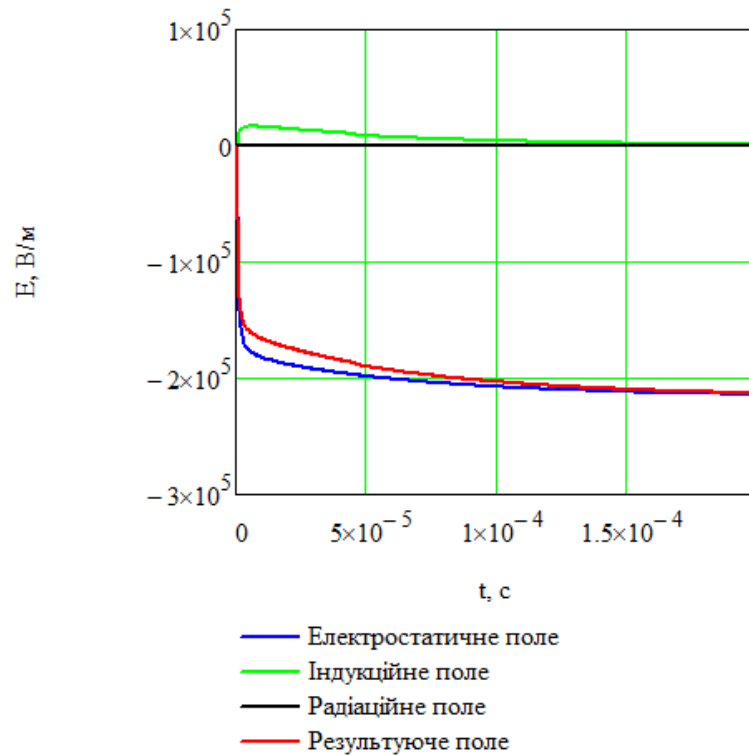


Рисунок 3.1.8 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 5$ м для струму блискавки $i_m = 2$ кА та форми 1.2/50 мкс

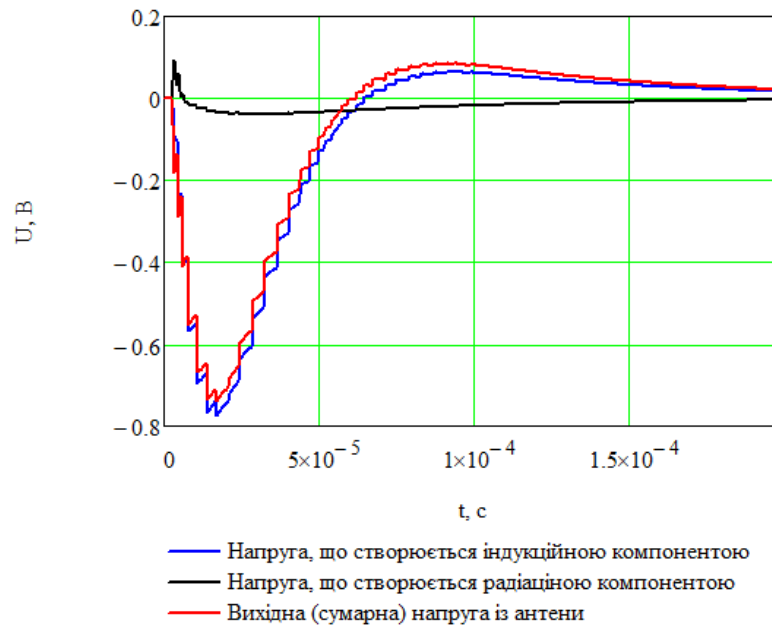


Рисунок 3.1.9 – Результати моделювання мінімальної вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 707$ м, $\Theta = 45^\circ$ для струму блискавки $i_m = 2$ кА та форми 1.2/50 мкс

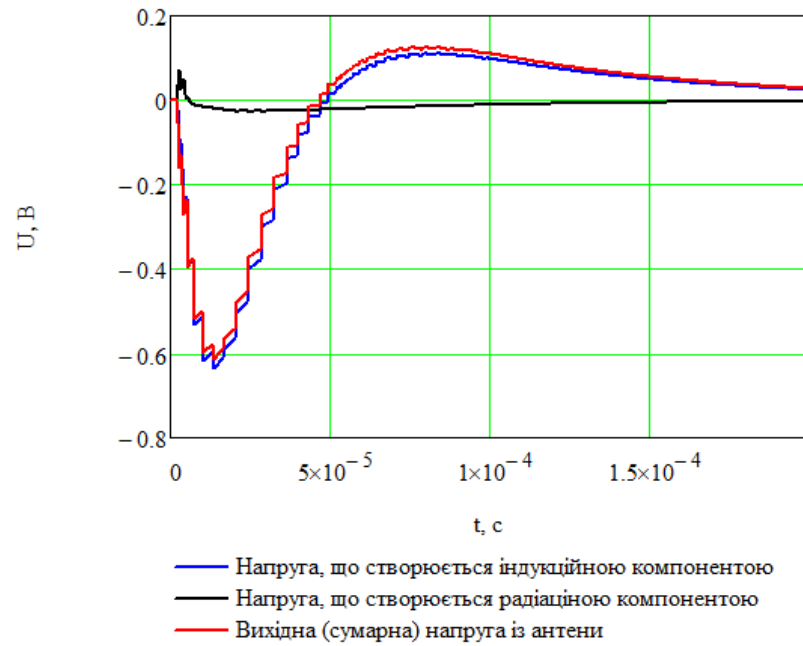


Рисунок 3.1.10 – Результати моделювання мінімальної вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 559$ м, $\Theta = 64^\circ$ для струму блискавки $i_m = 2$ кА та форми 1.2/50 мкс

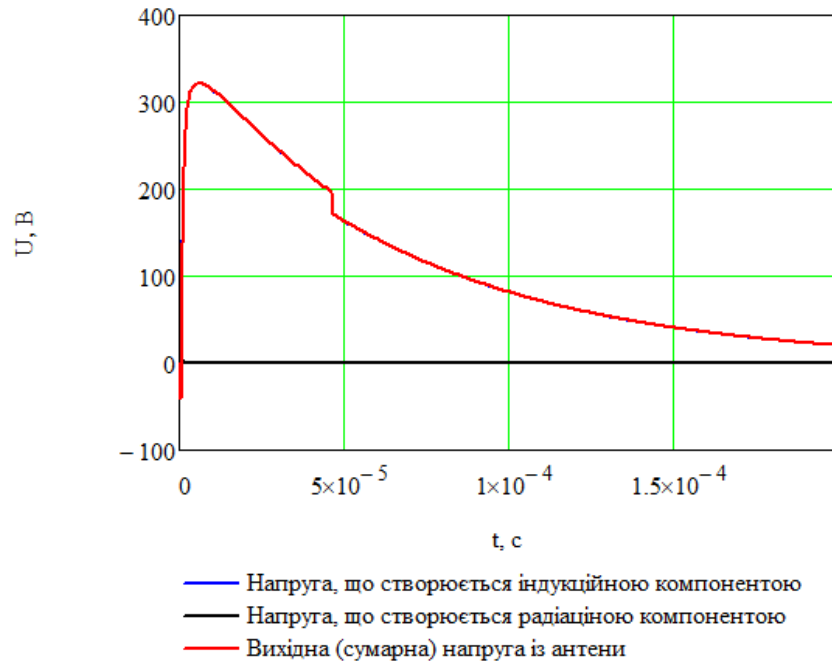


Рисунок 3.1.11 – Результати моделювання мінімальної вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 5$ м, $\Theta = 0^\circ$ для струму блискавки $i_m = 2$ кА та форми 1.2/50 мкс

Як можна бачити із рис. 3.1.11 у перший момент часу $t=0$ вихідна напруга має від’ємне значення, що пов’язано із формулою для апроксимації струму (3.1.9), оскільки для такого виразу перша похідна в момент часу не стає нулем.

Отримані результати розрахунку зведено у таблиці 3.1.5.

Таблиця 3.1.5 – Результати розрахунку амплітуди мінімальної вихідної напруги із антени для струму блискавки 2 кА із параметрами 1.2/50 мкс

Параметр	r , м	Θ , градусів	U , В
Максимальний	5	0	315
Точка 2 на рис. 3.1.5	559	64	0.62
Точка 1 на рис. 3.1.5	707	45	0.78

Відповідно до таблиці 3.1.5 можна бачити, що *мінімальне значення амплітуди вихідної напруги, при перевищенні якого буде тригеруватись система моніторингу блискавок становить 0.62 В.*

Як вже зазначалось, дана величина повинна визначатись індивідуально для кожного об’єкту, на якому може бути встановлена система моніторингу блискавок, оскільки мінімальне значення напруги на виході антени, що створює струм амплітудою 2 кА (з формою хвилі за табл. 3.1.3), залежить і від відстані, і від кута між антеною та місцем розряду.

Визначимо максимальну наругу, яка може індукуватися на антені. Вихідні дані для моделювання показано в табл. 3.1.3 та 3.1.4. Розрахункова конфігурація розташування антен така ж, як і для випадку розрахунку мінімальної напруги (див. рис. 3.1.5). Результати моделювання напруженості електричного поля та напруги на виході антени для різних відстаней та азимутів до місця розряду блискавки представлено на рис. 3.1.12 – 3.1.17.

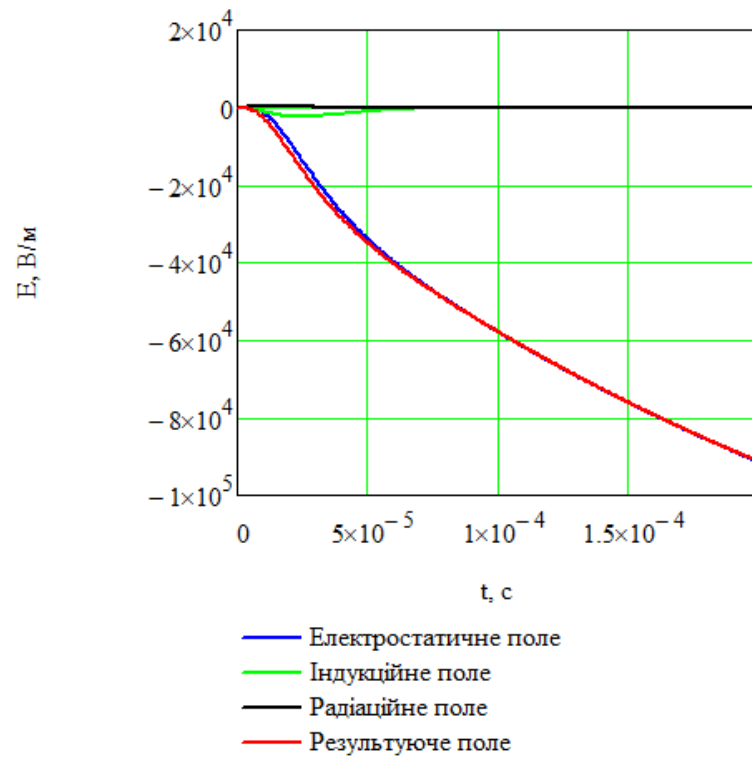


Рисунок 3.1.12 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 707$ м для струму блискавки $i_m = 80$ кА та форми 18/200 мкс

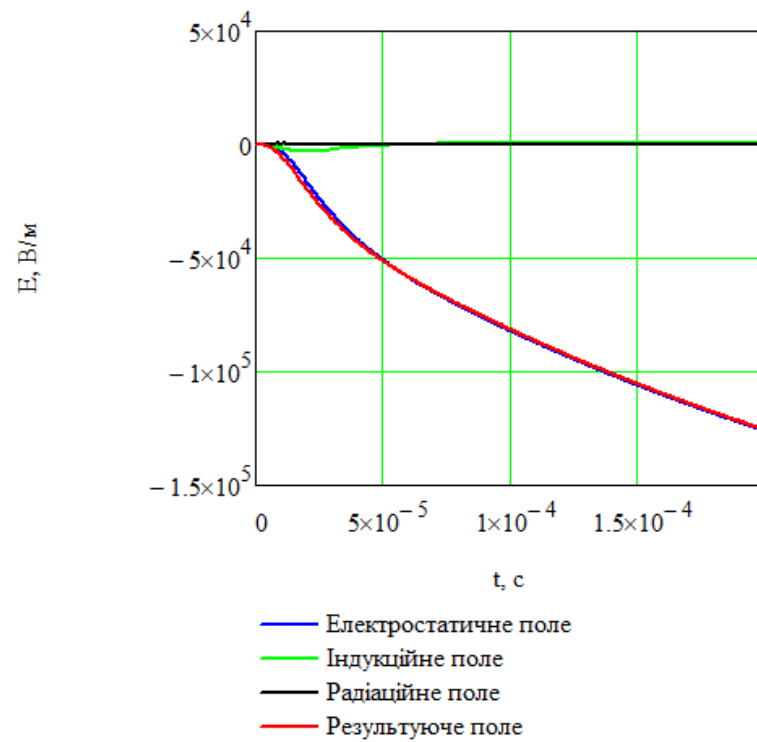


Рисунок 3.1.13 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 559$ м для струму блискавки $i_m = 80$ кА та форми 18/200 мкс

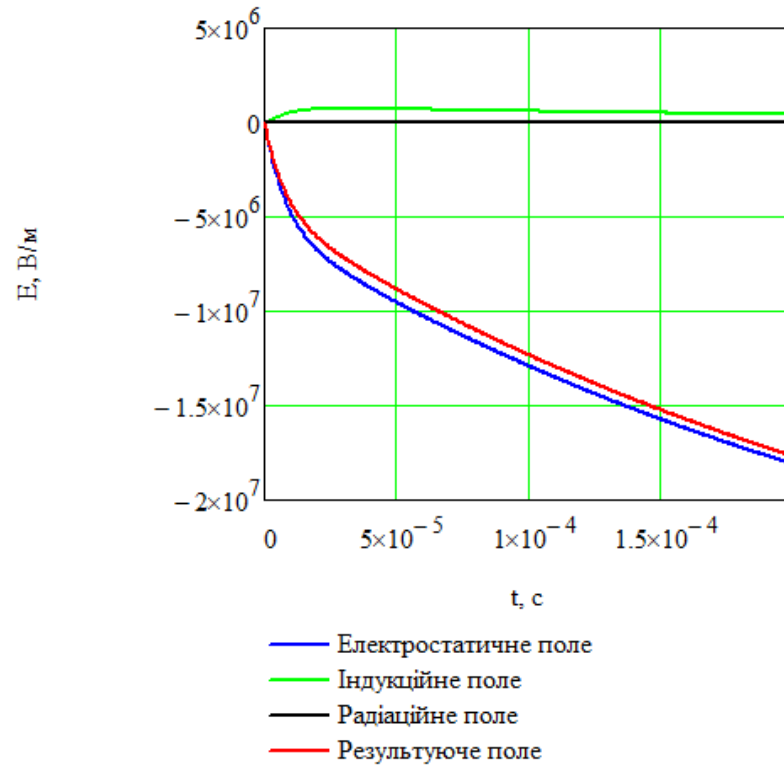


Рисунок 3.1.14 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 5 \text{ м}$ для струму блискавки $i_m = 80 \text{ кА}$ та форми 18/200 мкс

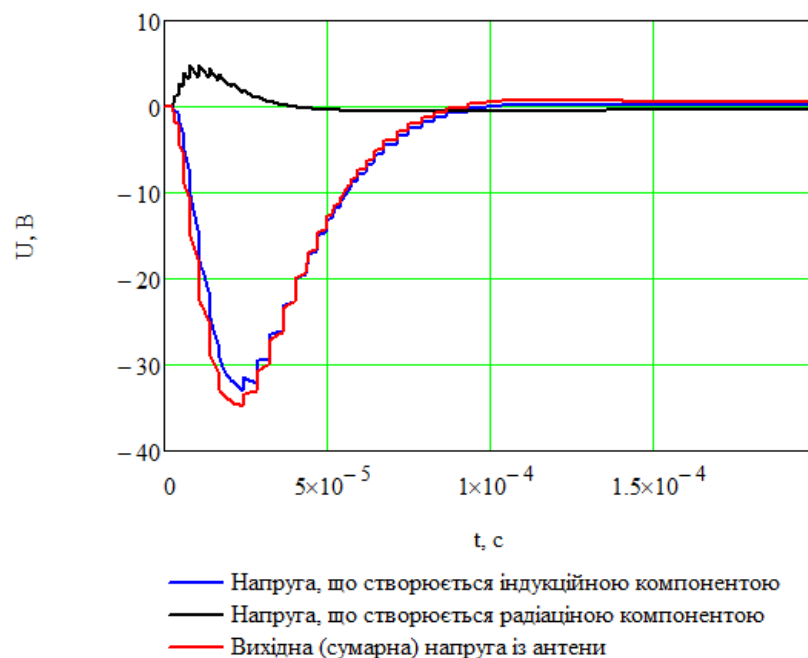


Рисунок 3.1.15 – Результати моделювання максимальної вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 707 \text{ м}$, $\Theta = 45^\circ$ для струму блискавки $i_m = 80 \text{ кА}$ та форми 18/200 мкс

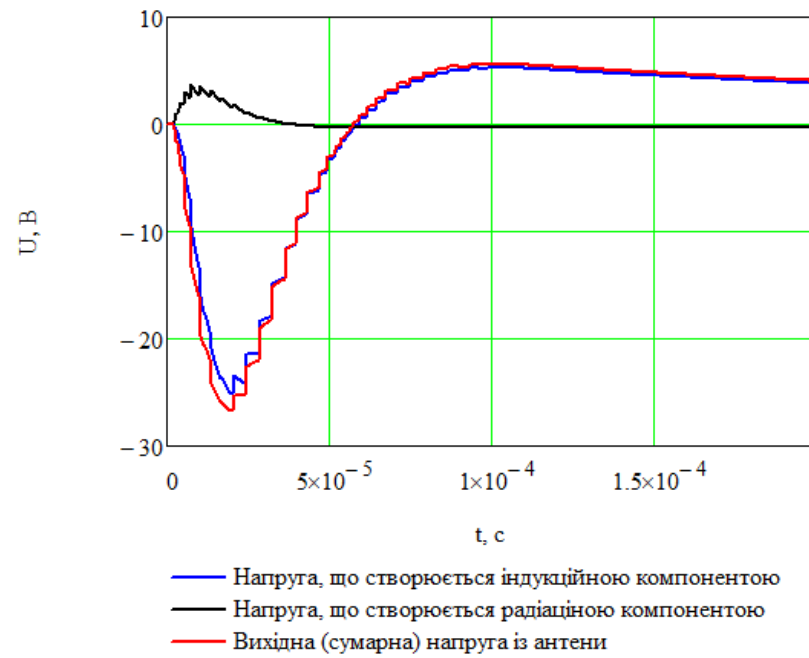


Рисунок 3.1.16 – Результати моделювання максимальної вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 559$ м, $\Theta = 64^\circ$ для струму блискавки $i_m = 80$ кА та форми 18/200 мкс

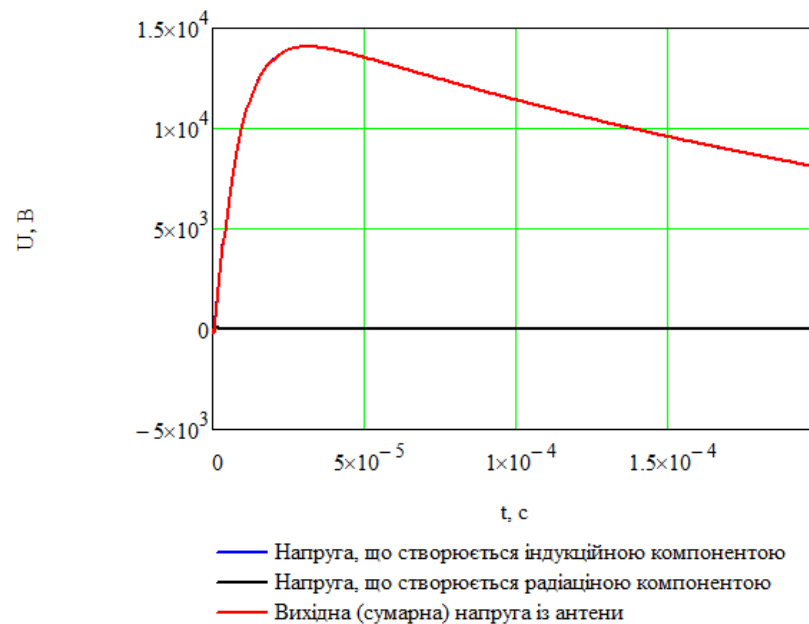


Рисунок 3.1.17 – Результати моделювання максимальної вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 5$ м, $\Theta = 0^\circ$ для струму блискавки $i_m = 80$ кА та форми 18/200 мкс

Отримані ключові результати розрахунків максимальних вихідних значень напруги зібрано в таблиці 3.1.6.

Таблиця 3.1.6 – Результати розрахунку максимальної вихідної напруги із антени для струму блискавки 80 кА із параметрами 18/200 мкс

Параметр	r , м	Θ , градусів	U , В
Максимальний	5	0	14500
Точка 2 на рис. 3.1.5	559	64	27
Точка 1 на рис. 3.1.5	707	45	35

Як можна бачити із таблиці 3.1.6, що при даному грозовому імпульсу 80 18/200 мкс, перенапруга, яка виникає на антені, становить 14.5 кВ при струмі блискавки 80 кА. Такий нюанс потребує більш глибокого аналізу, щодо проектування та захисту електричних кіл, які будуть реєструвати вихідний сигнал із антени. Тому пропонується захистити саму котушку антени та електроніку від такої перенапруги засобами захисту (ПЗП), які буде встановлено на виході антени. В такому випадку при спрацюванні ПЗП потрібно виключити сигнали даної антени із алгоритму оцінки відстані до місця удару, оскільки сигнал, який пройде далі ПЗП не допоможе коректно визначити кут.

В той же час інформація про цю подію має передаватися на сервер із зафіксованим фрагментом відео.

Окрім встановлення ПЗП можна розглянути варіант іншого проектування антен та систем обробки сигналу (компонентів послаблення), оскільки при використанні вище описаної антени, у випадку безпосереднього розряду блискавки біля антени, на ній буде виникати суттєва перенапруга.

Варто відзначити, що така подія досить малоїмовірна, оскільки 95% блискавок мають амплітудне значення струму в межах 80 кА, а 50% всіх блискавок – 30 кА [7].

Визначимо типове значення вихідної напруги із антени для 50%-значення параметрів струму блискавки (див. табл. 3.1.3).

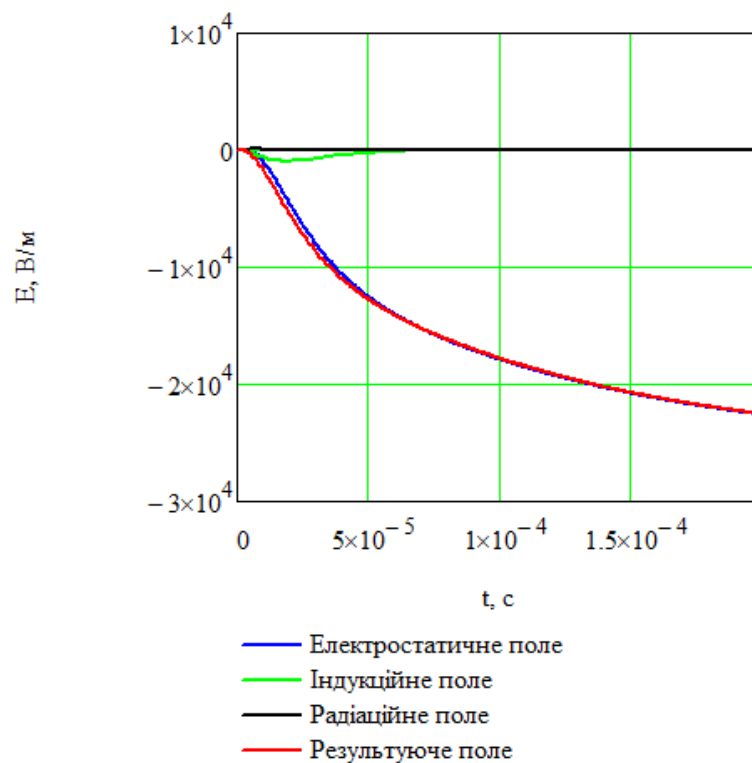


Рисунок 3.1.18 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 707$ м для струму блискавки $i_m = 30$ кА та форми 5.5/75 мкс

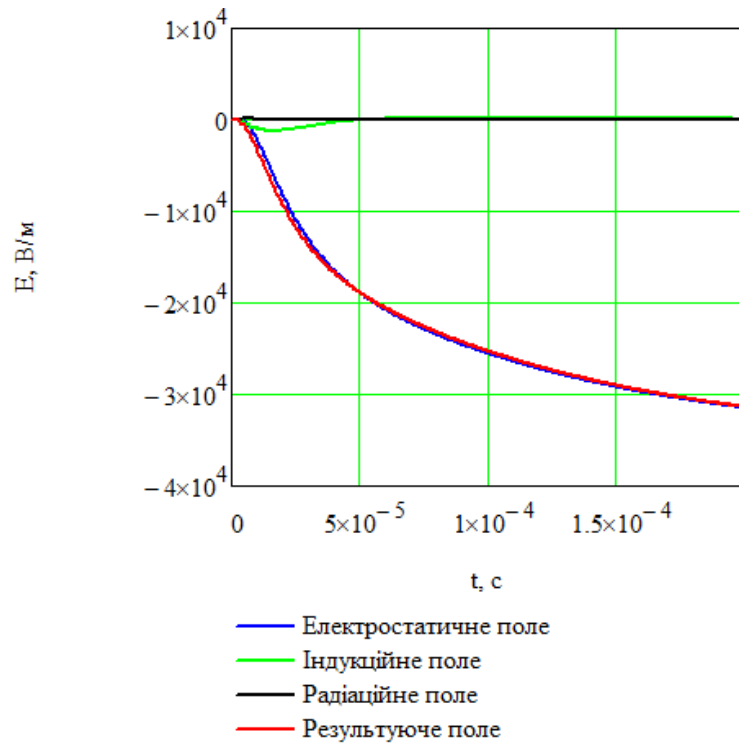


Рисунок 3.1.19 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 559 \text{ м}$ для струму блискавки $i_m = 30 \text{ кА}$ та форми $5.5/75 \text{ мкс}$

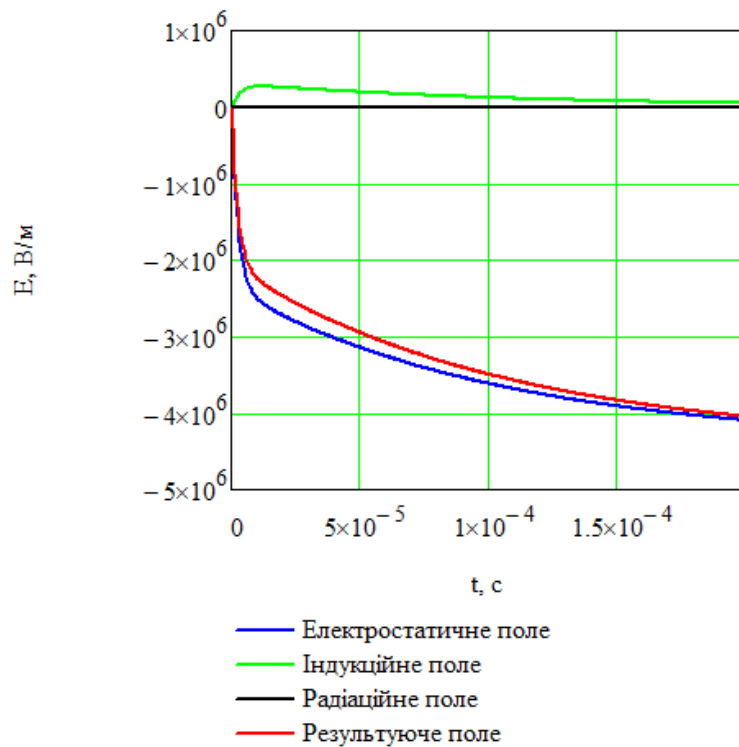


Рисунок 3.1.20 – Результати моделювання напруженості електричного поля на відстані $r = 5 \text{ м}$ для струму блискавки $i_m = 30 \text{ кА}$ та форми $5.5/75 \text{ мкс}$

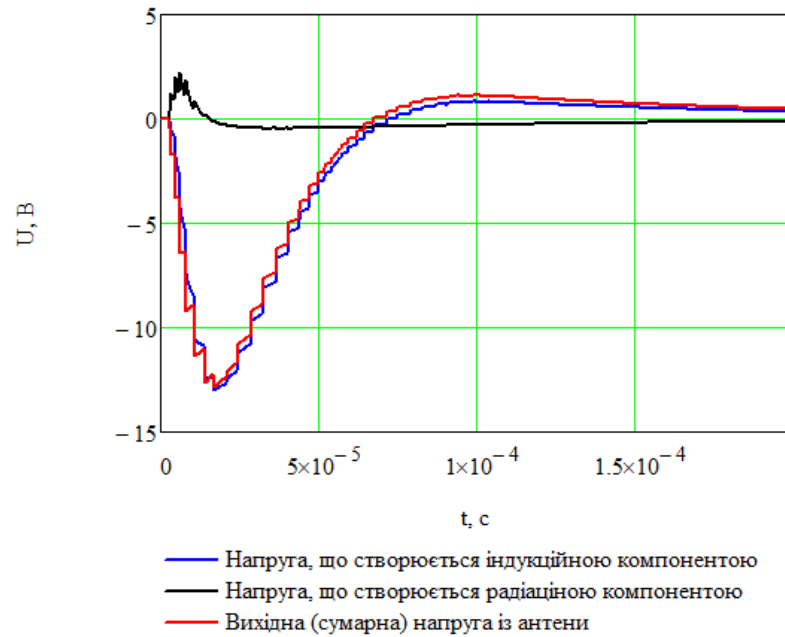


Рисунок 3.1.21 – Результати моделювання типової вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 707 \text{ м}$, $\Theta = 45^\circ$ для струму блискавки $i_m = 30 \text{ кА}$ та форми 5.5/75 мкс

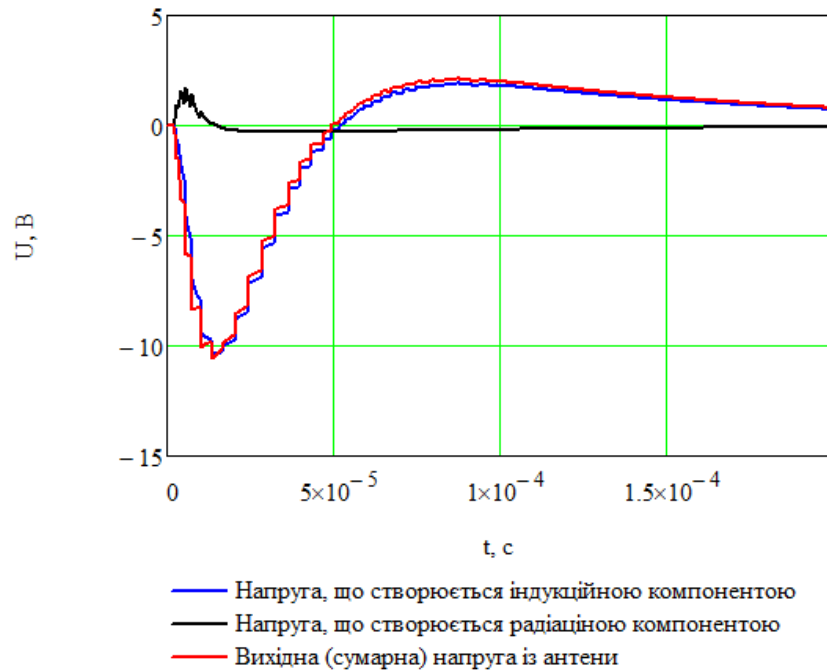


Рисунок 3.1.22 – Результати моделювання типової вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 559 \text{ м}$, $\Theta = 64^\circ$ для струму блискавки $i_m = 30 \text{ кА}$ та форми 5.5/75 мкс

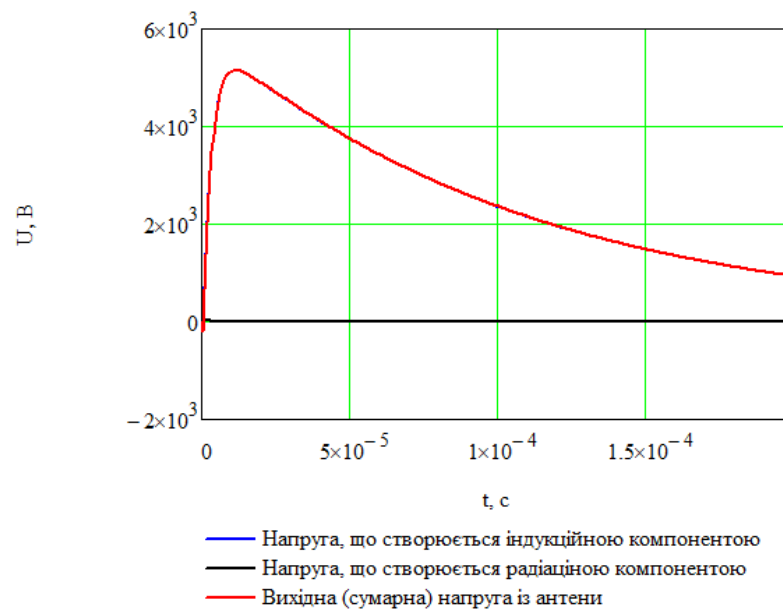


Рисунок 3.1.23 – Результати моделювання типової вихідної напруги із феритової магнітної антени при на відстані $r = 5$ м, $\Theta = 0^\circ$ для струму блискавки $i_m = 30$ кА та форми 5.5/75 мкс

Отримані результати розрахунків наведемо в таблиці 3.1.7.

Таблиця 3.1.7 – Результати розрахунку типової вихідної напруги із антени для струму блискавки 30 кА із параметрами 5.5/75 мкс

Параметр	r , м	Θ , градусів	U , В
Максимальний	5	0	5200
Точка 2 на рис. 3.1.5	559	64	10.2
Точка 1 на рис. 3.1.5	707	45	13

Як можна бачити із таблиці 3.1.7, що максимальна перенапруга на антені, буде складати 5.2 кВ. Тому для безпечної експлуатації потрібно використовувати ПЗІВ та інші захисні елементи. В той же час індукована напруга на дальніх відстанях складає від 10.5 – 13 В, що є допустимим для

аналізу, оскільки амплітуда буде ще послаблена при проходженні через фільтр низьких частот а також зменшена за допомогою подільника напруги.

Окрім встановлення ПЗП можна розглянути варіант іншого проектування антен та систем обробки сигналу (компонентів послаблення), оскільки при використанні вище описаної антени, у випадку безпосереднього розряду блискавки біля антени, на ній буде виникати суттєва перенапруга. В такому випадку потрібно ітераційно проводити розрахунок для тих параметрів напруги, амплітуда яких буде задовільна для аналізу системою тригерування. В будь-якому випадку, можливий розряд блискавки безпосереднього біля самого датчика і це викличе суттєві перенапруги, незалежно від якості виконання антени (в той же час погіршення якості антени призведе до зменшення вихідної амплітуди сигналу при дальніх розрядах блискавки відносно об'єкту), і які будуть вище максимальних параметрів роботи схеми. Тому дане рішення (проектування магнітної антени) дозволить зменшити область робочих напруг із виходу антен (що розширить область робочих напруг), але не допоможе суттєво обмежити максимальну напругу при близькому розряді блискавки.

Тому для об'єкту з розмірами в межах 500x500 м, який розглядався в даному пункті, блок-схема, що зображена на рис. 2.1.3, набуває вигляду (рис. 3.1.24).

Як можна бачити із рис. 3.1.24, в даній системі відсутній ОП, оскільки його використання не є доцільним, бо мінімальний масштаб сигналу із яким буде працювати система це 0.7 В, а середнє значення – 13 В. Дане значення (яке буде ще зменшене після проходження ФНЧ) все ще зможе бути проаналізоване АЦП. Також для вирішення питань перенапруг на антені при близьких розрядах струму блискавки потрібно встановити та розробити якісні системи ПЗП для захисту електроніки та самої антени.

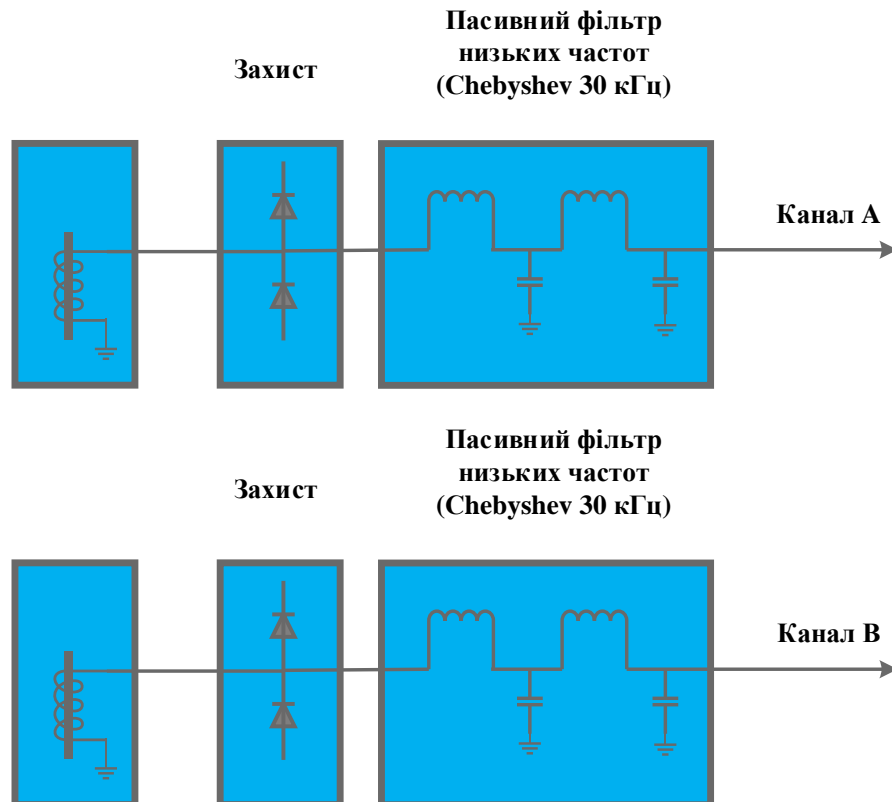


Рисунок 3.1.24 – Блок-схеми системи тригерування для об'єкту розмірами 500x500 м

3.2 Моделювання ФНЧ для магнітної антени та його вихідних параметрів

Фільтр низьких частот необхідний для того аби не пропускати в схему реєстрації частоти, що знаходяться в області резонансу феритової антени, оскільки значення вихідної напруги будуть мати велику амплітуду, а також через те, що сигнал буде інвертований по фазі. Тому необхідно розробити фільтр, який допоможе обрізати сигнал, вище частоти 30 кГц. Дана частота обрана тому, що на ній працює метод гронопеленгації та випромінюється велика електромагнітна енергія блискавки (див. розділ 1).

Для проектування було вирішено використовувати вбудовану підпрограму в САПР Micro Cap 10 для синтезу фільтрів.

В якості фільтру було обрано пасивний фільтр низьких частот за схемою Баттерворта, який дозволяє створити фільтр без спотворень кривої АЧХ в

області смуги пропускання. Параметри, які задавались для синтезу даного фільтра, показано на рис. 3.2.1.

Як можна бачити на рис. 3.2.1, частота зрізу (F_c) становить 31 кГц, а перехідна область, в якій сигнал буде затухати зі швидкістю 20 дБ/дек (параметр A) становить 50 кГц (параметр F_s). В той же час, відповідно до діаграми Бode, фільтр має досить широку перехідну область (див. рис. 3.2.2). Такі параметри обрані тому, що під час зменшення перехідної області збільшується кількість ланок фільтра, що є не бажаним, оскільки під час експлуатації даної схеми в реальних умовах в силу конструктивних особливостей (індуктивність доріжок друкованих плат, паразитні ємності між елементами та розкид їх параметрів) це призведе до того, що реальна характеристика фільтра не буде відповідати змодельованій. Тому було спроектовано фільтр, який містить лише сім елементів, який показано на рис. 3.2.3.

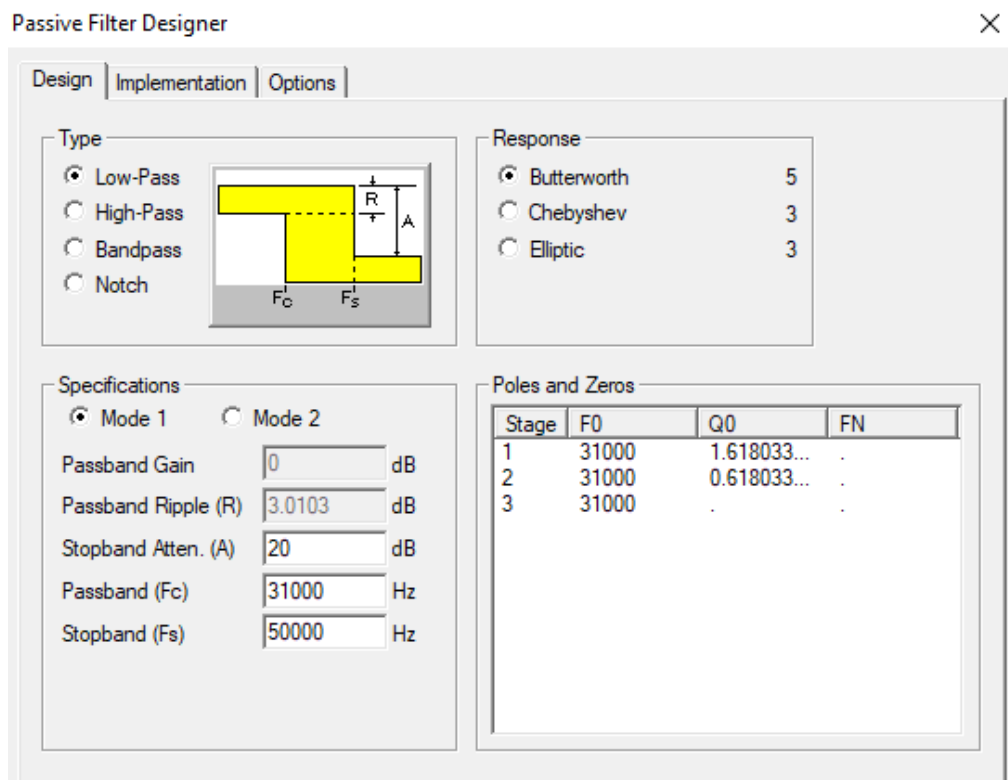


Рисунок 3.2.1 – Вікно програми Micro Cap 10 для задання параметрів фільтра

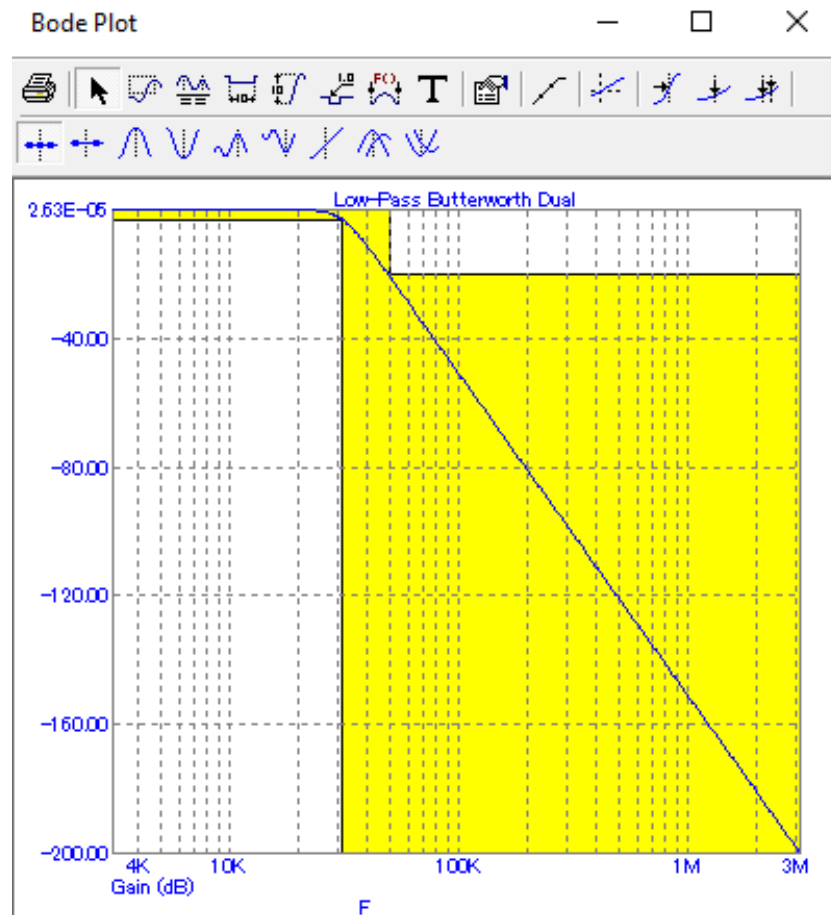


Рисунок 3.2.2 – Діаграма Бодє для ФНЧ за схемою Баттерворта (частота зрізу становить 31 кГц)

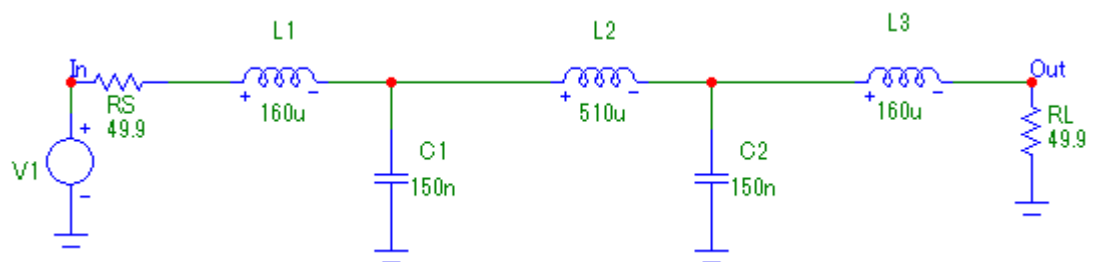


Рисунок 3.2.3 – Принципова схема фільтра низьких частота за схемою Баттерворта: V1 – імпульсне джерело напруги

ФЧХ та АЧХ для даного фільтру показано на рис. 3.2.4.

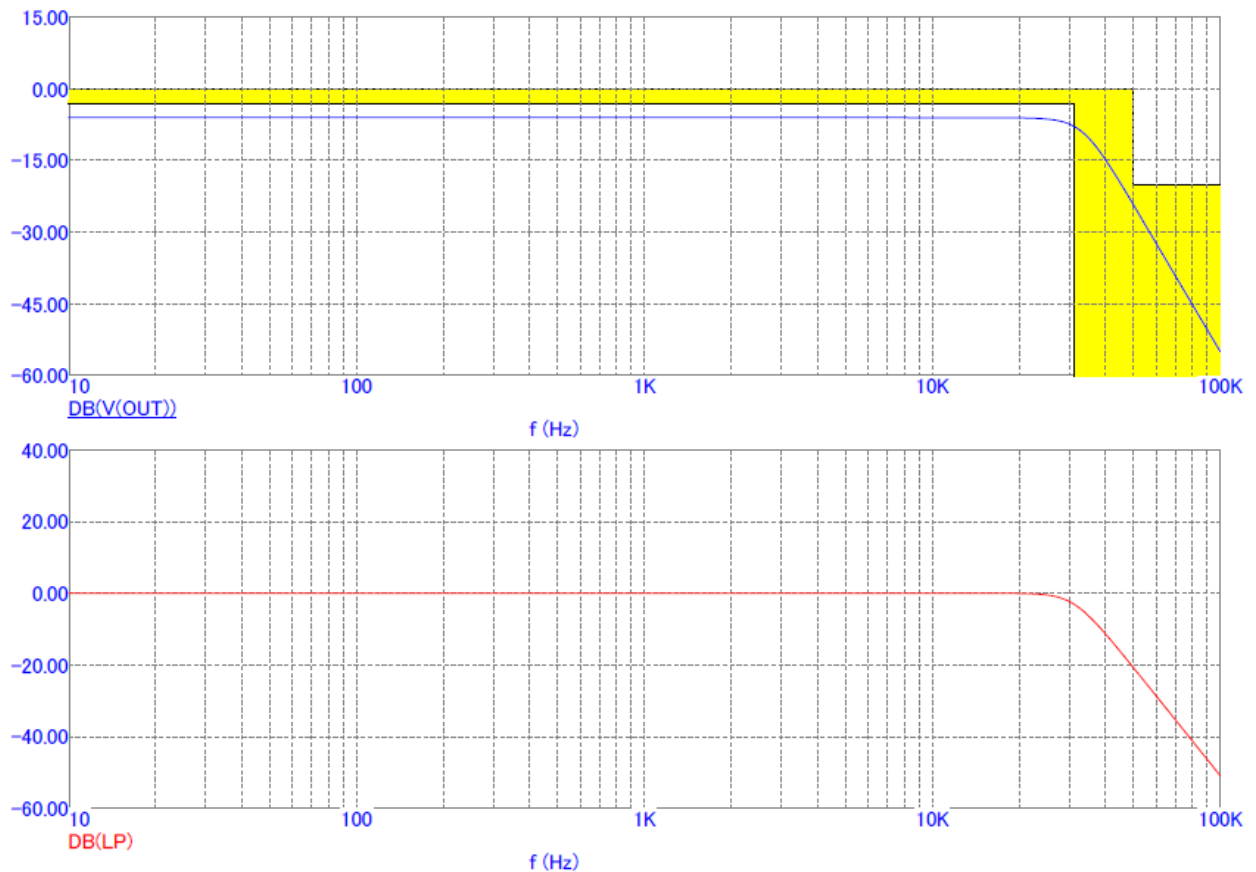


Рисунок 3.2.4 – Результати моделювання частотних характеристик для ФНЧ за схемою Баттерворта: синя лінія – АЧХ (верхній графік); червона – ФЧХ (нижній графік)

Змоделюємо, відповідно до схеми зображеної на рис. 3.2.5 вихідну напругу із спроектованого ФНЧ. Для цього розрахуємо значення поля для випадку 2 (див. рис. 3.1.5) при 50% значенні параметру струму блискавки, відповідно до параметрів, що наведені в табл. 3.1.3 та 3.1.4. Вихідна напруга із антен була змодельована відповідно до формули 3.1.13 із множником $\cos(\Theta)$ для каналу антени NS, та $\cos(90 - \Theta)$ для каналу антени EW. Отримані значення із програми MatchCad 15 занесені в програмовані джерела V1 та V2 (див. рис. 3.2.5). Результати моделювання показано на рис. 3.2.6. Для моделювання напруги було створено два фільтри та два відповідні джерела (V1 та V2), що відповідає антенам NS та EW (рис. 3.2.5).

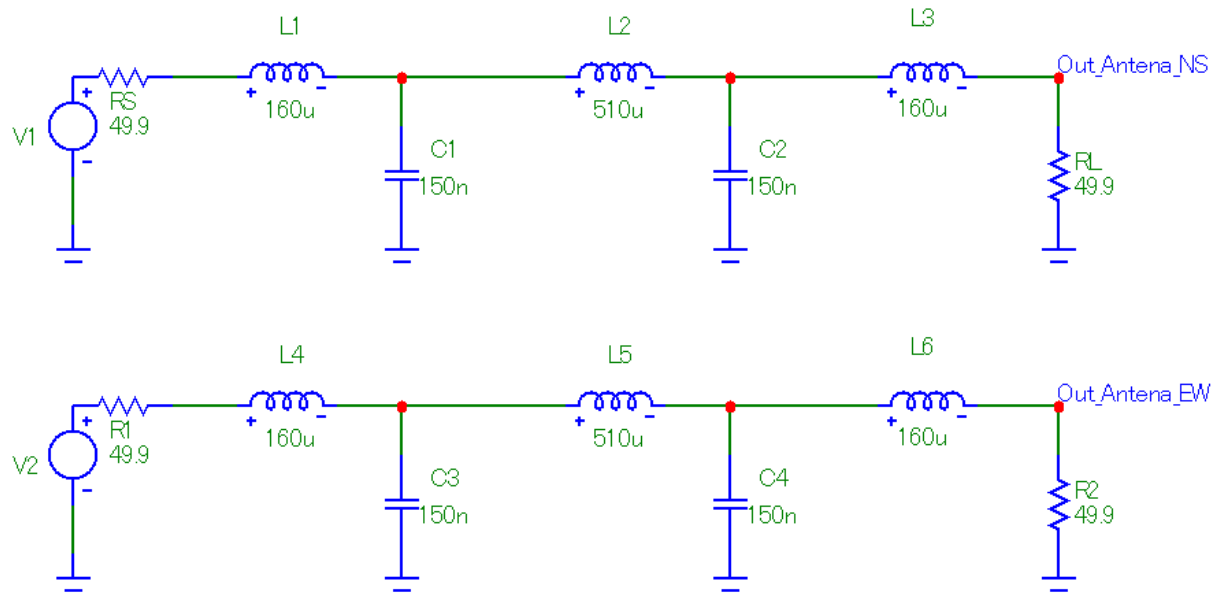


Рисунок 3.2.5 – Схема пасивного фільтра низьких частот, що підключений до двох каналів (NS та EW) антени, вихідна напруга із яких змодельована програмованими джерелами V1 та V2

Як можна бачити із рис. 3.2.6, пропонується використання двох фільтрів низьких частот, які підключається для кожного каналу (NS та EW) датчику (наприклад, DF1 на рис. 3.1.5). Значення кута (азимута), буде обчислено відповідно до формул, зображених на рис. 2.1.2. Відповідно:

$$\Theta = a \tan \left(\frac{U_{EW}}{U_{NS}} \right), \quad (3.2.1)$$

де: U_{EW} - амплітудне значення напруги на виході антени EW; U_{NS} - амплітудне значення напруги на виході антени NS.

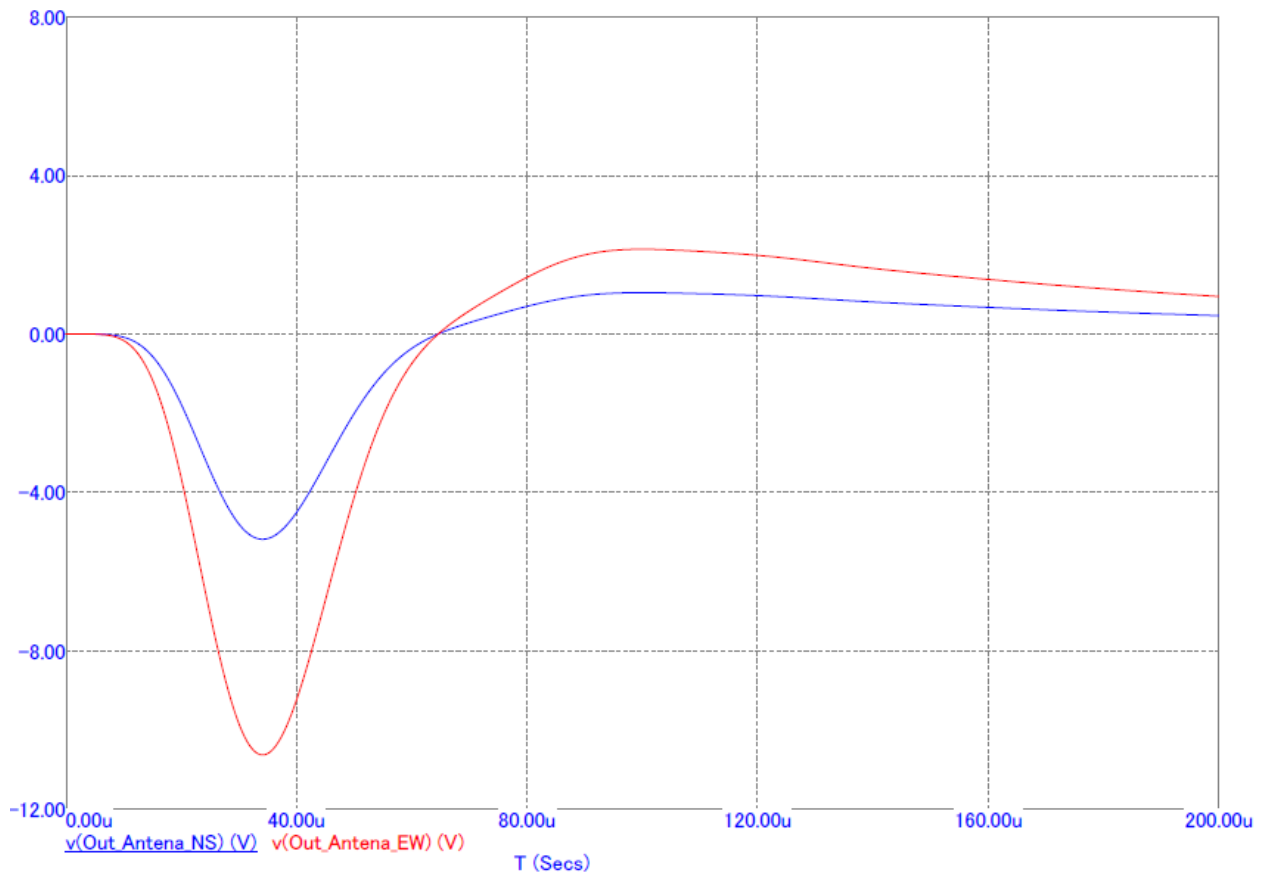


Рисунок 3.2.6 – Результати моделювання вихідної напруги із ФНЧ: синя лінія – напруга на виході із антени NS, червона – напруга на виході із EW

Результати моделювання (амплітудні значення) типової вихідної напруги із ФНЧ на відстані $r = 559$ м, $\Theta = 64^\circ$ (точка 2 на рис. 3.1.5) для струму блискавки $i_m = 30$ кА та форми 5.5/75 мкс показано в таблиці 3.2.1.

Таблиця 3.2.1 – Амплітудні значення вхідних та вихідних напруг із ФНЧ

Антенa	Розрахункове значення напруги на виході із антени, В	Змодельоване значення напруги на виході із ФНЧ, В	Теоретично заданий кут, градусів	Розрахунковий кут за (3.2.1), градусів
NS	-10.217	-5,183	64	64.001
EW	-20.949	-10.627		

Як можна бачити із табл. 3.2.1, після проходження сигналів крізь фільтр вони не змінили свої основні характеристики, про що свідчить відношення амплітудних значень напруги, яке після обчислення за формулою (3.2.1) дало той же кут, який був закладений як вхідна умова при моделюванні вихідної напруги із антен NS та EW.

3.3 Висновки

В даному розділі проведено моделювання електричних полів від розрядів блискавок та індукованої напруги на антенах NS та EW, що створює дане поле.

Обчислене *мінімальне* значення вихідної напруги із магнітних антен, що слугує сигналом для запуску процесу тригерування. Аналіз проводився на прикладі об'єкту захисту незначної висоти (типу ФЕС), що займає територію з розміром 500х500м. Так, мінімальне значення напруги для блискавки 2 кА склало 0.62 В.

Також обчислено *максимальну* напругу для даного об'єкту, яка може індукуватися на антені при розряді блискавки поблизу датчику (відстань у 5 м) та перпендикулярно до нього ($\Theta = 0^\circ$). Так, напруга склала 14.5 кВ для 5% значення струму блискавки (80 кА). Отримане значення перенапруги становить загрозу для роботи електронних компонентів системи моніторингу. Тому було прийнято рішення про встановлення ПЗПІ на вихід антени та проектування додаткових захисних кіл та подільників напруги, для того аби захистити схему від перенапруг. В такому випадку дані із датчику не повинні фіксуватись для визначення позиції ураження. Але тригеруючий сигнал, який формує система захисту даного датчику, повинен діяти і ініціювати збереження фрагменту відеозапису камер.

Типові значення напруги лежать в межах 10...13 В (для розрахункових точок на відстанях 707 м та 559 м і кутів 45 та 64 градусів відповідно на рис. 3.1.5 та 50% значень параметрів струму блискавки). А максимальне значення

напруги, що індукується на антені (при відстані 5 м та куті $\Theta = 0^\circ$ до антени) складає 315 В. Відповідно потрібно захистити систему від дії таких перенапруг, що виникають на близькій відстані, а також вилучити отримані значення із системи тригерування із алгоритму тріангуляції.

Вибрано та спроектовано фільтри низьких частот за схемою Баттерворда, який має частоту зрізу 31 кГц. Обчислено вихідний сигнал із даного фільтру та кут, який визначає азимут до місця розряду блискавки при моделюванні. Після проходження фільтру спотворення сигналів не спостерігається, а співвідношення амплітуд напруг не показало помітної різниці між величинами заданого та визначеного в процесі моделювання азимуту. Це свідчить про правильність роботи фільтру, а також вірність моделювання методу грозопеленгації.

4. СТАРТАП – ПРОЕКТ: КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ. МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ

4.1 Опис ідеї товару

Чинні у світі та і в Україні нормативні документи з блискавкозахисту (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ДСТУ EN 62305:2012), регламентують проведення обстеження систем блискавкозахисту на об'єктах і самих об'єктів періодично (зокрема, на початку грозового сезону) та після кожного ураження блискавкою. Проблема полягає в тому, що коли об'єкт має значні розміри, то виконання таких обстежень вимагає значних ресурсів. Крім того, при експлуатації багатьох об'єктів (наприклад, лінії електропередач (ЛЕП), вітрогенераторних установок, ФЕС) важливо отримувати не лише архівну, а також і оперативну інформацію про ураження блискавками і можливі пошкодження, що допоможе ефективно планувати усунення аварійних ситуацій, спричинених грозовою активністю [6].

Тому із цією метою у світі створюються системи [6], що здатні реєструвати момент ураження блискавкою на відео камеру, але основний їх недолік, це те що вони оптичну систему тригерування, яка може пропустити момент ураження в силу специфічних характеристик розряду блискавки. Ще один недолік це те, що дані продукти не являються повноцінним комерційним продуктом або ж використовують дорогі компоненти, наприклад, високошвидкісні камери для відео зйомки, вартість яких складає 12000...100000 дол. США [6]. А також необхідність правильного налаштування відеокамер, оскільки при стандартних налаштування IP відеокамер вони можуть пропустити момент розряду блискавки [21]

Метою даного стартап-проекту є створення системи моніторингу для об'єктів, яка буде тригеруватись магнітним полем, що дозволить не лише якісно тригерувати відео систему спостереження, але й визначати

характеристики струму блискавки та оперативно оцінювати масштаб та характер пошкодження спричинених розрядом блискавки, що допоможе підприємствам уникнути великих матеріальних затрат на обслуговування та ремонт пошкоджених елементів. На прикладі вітроелектричної станції можна показати, якщо не своєчасно виявити пошкоджений елемент лопаті вітрогенератору при подальшій його експлуатації це може призвести до втрати даного елемента та виведення всієї енергетичної установки із ладу.

Цілісне уявлення про зміст ідеї стартап-проекту та можливі базові потенційні ринки, на яких можливе використання системи моніторингу за блискавки, представлено в табл. 4.1.1, відповідно до [37].

Таблиця 4.1.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Впровадження системи відео моніторингу за блискавками	1. Електроенергетика	Визначення місця ураження блискавкою, оперативний та якісний аналіз можливих пошкоджень для великих об'єктів (ВЕС, ФЕС, підстанції та станції), що допоможе зекономити кошти при огляді даних об'єктів, що регламентується нормативними документами та уникнути подальшого руйнування пошкоджених елементів
	2. Ракето-космічна галузь	Інформація отримана із системи моніторингу дозволить визначити чи було ураження блискавкою таких об'єктів, де ураження може призвести до збоїв у роботі електронного обладнання ракет та оцінити параметри струму і наведеного електромагнітного поля на чутливі компоненти
	3. Промисловість, яка пов'язана із видобутком та переробкою паливних матеріалів та вибухових речовин	Система моніторингу дозволить оцінювати місце ураження критичних ділянок даних підприємств, що допоможе уникнути масштабних аварій пов'язаних із пошкодженням цистерн із горючими речовинами, трубопроводів, що знаходяться на відкритому просторі
	4. Страхові компанії	Якісна оцінка страхових випадків, які пов'язані із блискавкою

Як можна бачити із табл. 4.1.1 використання системи відео моніторингу за блискавки можливе у різних галузях, що збільшує групу потенційних клієнтів та шанси на фінансування і впровадження системи.

Визначимо та проведемо для даної ідеї порівняльний аналіз показників: а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні), відповідно до [37]. Отриманні результати занесемо до табл. 4.1.2.

Таблиця 4.1.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї системи відео моніторингу за блискавками

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтраль на сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент [38]			
1	Реєстрування вторинних характеристик блискавки, що слугує для оцінки та тригерування системи	Якісно аналізує характеристики ЕМ-поля та тригерує систему відеомоніторингу	Реєструє лише оптичне випромінювання	Потреба у калібруванні системи	Наявність технологій та алгоритмів для реалізації	Широкий діапазон застосування системи
2	Відеофіксація моменту ураження	Застосування сучасних IP відеокамер та програмного забезпечення	Застосовує застарілі відеокамери із невеликою роздільною здатністю	Потребує проведення попередніх тестів та налаштувань	Наявність широкого вибору даних компонентів	Доступність IP відеокамер, що здешевлює вартість системи
3	Тріангуляція місця ураження	Дозволяє точно визначити місце ураження як по відео так і по ЕМ-полю	Відсутня можливість тріангуляції	Потребує розробки спеціалізованого алгоритму	Можливість використання готових алгоритмів	Доступність математичних пакетів та технічних засобів для реалізації

Відповідно до проведеного аналізу слабких сильних та нейтральних характеристик ідеї системи відео моніторингу за блискавками можна стверджувати про конкурентоспроможність даного проекту. Варто відзначити, що система описана в [38] NARI Co., Ltd. of State Grid Electric Power Research Institute Wuhan, China (Державний науково-дослідний інститут електроенергетики, Китай) не є прямим конкурентом для системи, що розробляється та не є повноцінним комерційним продуктом, а використовується лише для експериментів щодо моніторингу блискавок.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Нижче буде проведено технологічний аудит технологій, за допомогою яких можна створити та реалізувати ідею проекту, щодо створення товару.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових [37]:

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Отриманий результат наведемо в табл. 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Відео фіксація моменту влучання блискавки в об'єкт	Методика відео моніторингу блискавок	Наявні технології присутні на ринку	Наявні технології доступні на ринку (компоненти для відео спостереження)
2	Тригерування моменту запису за допомогою ЕМ-поля та визначення характеристик блискавки по полю	Технологія магнітної грозопеленгації та триангуляції	Потреба у розробці алгоритмів для триангуляції	Доступність програмних засобів для моделювання та впровадження алгоритму в систему (програма для мікрокомп'ютера)

Відповідно до результатів аналізу табл. 4.2.1 можна стверджувати про можливість технічної реалізації проекту: системи моніторингу за блискавки для об'єктів енергетики.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [37].

Занесемо до таблиці 4.3.1 результати проведеного аналізу попиту: його наявність, обсяг та динаміка розвитку.

Таблиця 4.3.1 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту системи моніторингу за блискавки для об'єктів енергетики

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних конкурентів, од	0
2	Загальний обсяг продаж, ум.од	1000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Потреба у калібруванні, що потребує специфічного обладнання
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребують розробки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома (потребує дослідження)

Відповідно до таблиці 4.3.1 можна зробити висновок про те, що потрібні додаткові дослідження щодо визначенням норм рентабельності.

Групи потенційних клієнтів наведено в таблиці 4.3.2.

Наведемо в таблицях 4.3.3 та 4.3.4 фактори, які будуть сприяти впровадженню стартап-проекту системи моніторингу блискавок для об'єктів,

а також тих, що будуть перешкоджати цьому. Фактори в таблицях подаються в порядку зменшення значущості, відповідно до [37].

Таблиця 4.3.2 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Фіксування моменту ураження блискавкою об'єкту для оцінки та аналізу пошкодження	Енергетика	Обстеження систем блискавкозахисту які обладнанні дані об'єкти регламентується нормативними документами	Висока точність та ймовірність визначення місця ураження об'єкту блискавкою
2	Необхідність точного визначення причини страхового випадку, що пов'язані із породними явищами (грози, урагани)	Страхові компанії	Отримання точної інформації про грозову активність для обчислення ймовірностей ураження об'єкту	Збирання статистичної інформації, точне визначення страхового випадку
3	Необхідність забезпечення вимог експлуатації, на які можуть вплинути фактори, що пов'язані із природними явищами	Промисловості, що пов'язані із видобутком, переробкою та зберігання горючих речовин	Обстеження систем блискавкозахисту які обладнанні дані об'єкти регламентується нормативними документами	Своєчасне обстеження критичних ділянок даних підприємств, на яких у наслідок пошкодження, можлива аварійна ситуація

Таблиця 4.3.3 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Ускладнення із реєстрацією патенту в галузі	Пов'язані зі стандартизацією, розробкою та впровадженням системи моніторингу блискавки	Виконати розробку та впровадження за кордоном

продовження таблиці 4.3.3

3	Збільшення курсу валюти	Здорожчання вартості компонентів системи	Виключне здорожчання вихідного продукту, оскільки компоненти для системи не виробляються в Україні, а постачаються із-за кордону
---	----------------------------	---	---

Таблиця 4.3.4 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Регламентування аналізу на предмет пошкоджень нормативними документами України 3 блискавкозахисту	Система допоможе швидко аналізувати пошкодження та вживати необхідних заходів, щодо запобіганню аварійних ситуацій	Підвищення кількості клієнтів
2	Підтримка збоку держави	Підвищення штрафів за невиконання нормативних рекомендацій, що наведені у відповідних документах	Підвищення кількості клієнтів

Визначимо загальні риси конкуренції на ринку (див. табл. 4.3.5)

Таблиця 4.3.5 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції - чиста	Виробником виступає одна компанія конкуретів для якої в Україні немає	Ексклюзивність продукту
За рівнем конкурентної боротьби - міжнаціональна	Даний продукт зацікавить всі країни	Реклама даного продукту
За галузевою ознакою - міжгалузева	Можливість використання в різних галузях	Збільшення ринку збуту
Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Наявність двох варіантів виконання системи моніторингу, як спрощену (із використанням відеокамер які встановлено на об'єкті) так і комплексу (повну)	Універсальність використання

продовження таблиці 4.3.5

За характером конкурентних переваг- нецінова	Установка обладнання «під ключ»	Збільшення ринку збуту, реклама даного продукту
За інтенсивністю - марочна	Власна марка компанії, що буде виготовляти даний рпродукт	Збільшення ринку збуту, реклама даного продукту

Проведемо більш детальніший аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, відповідно до [37] (див. табл. 4.3.6).

Основним конкурентом для даної системи на провадженні ринку України може виступати людський ресурс, який буде забезпечувати вимоги нормативних документів (проводити обстеження об'єктів візуальним способом та за допомогою застосування спеціальної техніки – дронів).

Таблиця 4.3.6 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Людські ресурси	Не зацікавленість інвесторів в розробці системи та в економії, що може принести система	Іноземні компанії	Енергетика, підприємства, що займаються видобутком, переробкою, зберіганням горючих речовин	Відсутні
Висновки	Зменшення вартості оплати для людей у зв'язку із застосуванням сучасних технічних засобів, що полегшить обстеження	Є вихід на ринок. Конкурентів достатньо, що може спричинити загрозу для провадження.	Постачальник диктує умови. Все залежить від умов використання	Залежить від умов використання	Немає

Можна зробити висновок, що система моніторингу блискавки для об'єктів, є привабливою для споживачів. Оскільки дана система дозволяє

задовільнити вимоги нормативних документів по блискавкозахисту, що діють в Україні (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ДСТУ EN 62305:2012) із мінімальними економічними затратами, які необхідні для оплати роботи людей, що проводять обстеження. Ще один фактор, який буде сприяти впровадженню це унікальність, оскільки на ринку відсутня така система як продукт.

Сформуємо та обґрунтуємо в табл. 4.3.7 перелік факторів конкурентоспроможності, відповідно до [37].

Таблиця 4.3.7 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Забезпечення вимог нормативних документів	Використання системи моніторингу допоможе виконувати вимоги нормативних документів, щодо забезпечення огляду об'єктів, що складно виконувати у тому випадку, якщо об'єкт має великі розміри (ФЕС, ВЕС, станції та підстанції)
2	Надання оперативної інформації	Вчасно отримана інформація про пошкодження об'єкту допоможе зекономити кошти на ремонт.
3	Оцінка характеру пошкодження	Знання амплітуди струму блискавки та відео фрагментів із системи моніторингу допоможе оціни характер пошкодження дистанційно та прийняти рішення про огляд пошкодженої ділянки
4	Відео фіксація моменту ураження	Доступність IP відео-камер, що здешевлює вартість системи
5	Реєстрування вторинних характеристик блискавки, що слугує для оцінки та тригерування системи	Широкий діапазон застосування системи; Якісно аналізує характеристики ЕМ-поля та тригерує систему відеомоніторингу
6	Тріангуляція місця ураження	Дозволяє точно визначити місце ураження як по відео так і по ЕМ-полю

Відповідно до табл. 4.3.7 проведемо порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 4.3.7 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи моніторингу для об'єктів енергетики енергетики»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з людськими ресурсами						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Забезпечення вимог нормативних документів	20					L		
2	Надання оперативної інформації в режимі «реального часу»	20	L						
3	Оцінка характеру пошкодження	15				L			

В табл. 4.3.7 проведено порівняння системи моніторингу блискавок для об'єктів. Основний конкурент, як вже зазначалось, є людські ресурси (L в табл. 4.3.7).

Відповідно до табл. 4.3.7 розроблена система має такі основний фактор конкуренто спроможності, як надання оперативної інформації в режимі реального часу.

Фактор в якому система відео моніторингу програє своєму основному конкуренту (людським ресурсам) – це забезпечення вимоги нормативних документів, оскільки цей процес вже є налагоджений та оптимізований і забезпечує людей робочими місцями.

Проведемо порівняльний аналіз сильних та слабких сторін, щодо системи моніторингу блискавок для об'єктів на основі складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (див. табл. 4.3.8), відповідно до [37].

Рекомендований час для впровадження системи моніторингу блискавок, які вражають об'єкти на ринок 2020-2021 роках, оскільки система потребує розробки програмного забезпечення, а також калібрування та тестування на за допомогою спеціального обладнання. Після проведення всіх необхідних тестів, система зможе працювати у будь-якій точці країни без необхідності у

проведенні калібрування, оскільки це буде відбуватись програмним способом.

Таблиця 4.3.7 – SWOT - аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Система моніторингу дозволяє забезпечити технічні і економічні вигоди; Дозволяє виконувати вимоги нормативних документів із мінімальними затратами</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Необхідність калібрування системи в цілому</p>
<p>Можливості:</p> <p>Система допоможе швидко аналізувати пошкодження та вживати необхідних заходів, щодо запобіганню аварійних ситуацій; Підвищення штрафів за невиконання нормативних рекомендацій, що наведені у відповідних документах.</p>	<p>Загрози:</p> <p>Пов'язані зі стандартизацією, розробкою та впровадженням системи моніторингу блискавки; Здорожчання вартості компонентів системи</p>

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (див. табл. 4.4.1), відповідно до [37].

Таблиця 4.4.1 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Енергетика	Найшвидша	Товар буде мати великий попит	Можлива	Все залежить від спеціалістів у галузі, через важкість просування даного продукту в ці сфері

продовження таблиці 4.4.1

2	Підприємства, що займаються видобутком, переробкою, зберіганням горючих речовин	Найшвидша	Товар буде мати великий попит	Можлива	Все залежить від спеціалістів у галузі, через важкість просування даного продукту в цій сфері
Які цільові групи обрано: обидві, для яких буде характерна одна стратегія конкурентної поведінки					

Як можна бачити із таблиці 4.4.1 компанія є зосередженою на двох ключових сегментах ринку, тому використовуємо диференційовану стратегію маркетингу, відповідно до рекомендацій наведених у [37].

Сформуємо базову стратегію розвитку для просування на даних ринках (табл.4.4.2), відповідно до [37]

Таблиця 4.4.2 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Незалежно виготовляти та просувати продукт із можливістю виконання системи відповідно до специфіки замовника	Залучення нових споживачів, через рекламу у відповідних галузях	Забезпечення вимог нормативних документів; Опертивна інформація (в режимі реального часу) про пошкодження об'єкту, що допоможе зекономити кошти на ремонт.	Лідерства по витратах

Визначимо базові стратегії конкретної поведінки, відповідно до [37] та зазначимо в табл. 4.4.3.

Таблиця 4.4.3 – Визначення базової стратегії конкретної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	ТАК	ТАК, ТАК	НІ	Лідера

Розробимо стратегію позиціонування (див. табл. 4.4.4), що полягає у формуванні ринкової позиції, за якими споживачі мають інфікувати проект [37].

Таблиця 4.4.4 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Гнучність та легкість у користуванні та налаштуванні; уніфікованість конструкції	Залучення нових підприємств на яких буде встановлюватись система (диференціація – створення унікального продукту)	Висока ефективність моніторингу грозвоих розрядів, які можуть влучати в об'єкт. Що допоможе оперативно аналізувати пошкодження в режимі реляного часу завдяки застосуванню IP відеокамер	Безпека, економія, надійність, висока ефективність

Напрямок розвитку продукту (системи моніторингу за блискавками) полягає у створенні системи, яка якісно буде відрізнятись від аналогів та забезпечувати високу надійність детектування розрядів блискавки в об'єкт.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування *маркетингової концепції товару*, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.5.1 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [37].

Таблиця 4.5.1 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Задоволення вимог нормативних документів із блискавкозахисту (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ДСТУ EN 62305:2012)	Висока точність визначення місця ураження об'єкту, збирання статичної інформації для страхових компаній.	Забезпечення надання інформації в режимі реального часу із точною тріангуляцією місця ураження об'єкту блискавкою, економічність у встановленні системи (оскільки для даної системи можна використовувати інфраструктуру, що вже є на об'єкті (відеокамери) у порівнянні із людським ресурсами

Як можна бачити із табл. 4.5.1 ключова переваги системи моніторингу блискавки для об'єктів є забезпечення вимог нормативних документів без використання людських ресурсів, що дозволяє оперативно в режимі реального часу оцінювати характер та масштаб пошкодження завдяки даним про параметри струму блискавки та відеофрагменту, що було отримана із системи моніторингу.

Розробимо трирівневу маркетингову модель продукту.

Таблиця 4.5.2 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Система моніторингу блискавок для об'єктів – система, що відслідковує ураження об'єкту блискавкою та надає оперативну інформацію про характер та ступінь пошкодження в режимі реального, що дозволяє оперативно вживати заходів щодо їх усунення. Потреба у задоволенні вимог нормативних документів із блискавкозахисту (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ДСТУ EN 62305:2012) із мінімальними затратами.

продовження таблиці 4.5.2

II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Функціональне призначення – відслідковує ураження об'єкту блискавкою та надає оперативну інформацію про характер та ступінь пошкодження в режимі реального, що дозволяє оперативно вживати заходів щодо їх усунення. 2. Надійність – дана система буде функціонувати лише під час грозової активності, тобто в середньому 60-80 годин на рік. 3. Надійність буде складати 99% фіксування всіх розрядів 4. Технологічність - процес виготовлення і собівартість товару буде знижено за рахунок невеликої кількості елементів та їх доступності на ринку елементів	1 М 2 М 3 М 4 М	1. Пр, Тх ,Тл, О 2. Пр, Тх ,Тл, О 3. Пр, Тх ,Тл, О 4. Пр, Вр, Тх ,Тл, О
	Якість: якість даної системи підтверджено моделюваннями та розрахунками в САПР результати якого наведено у даній магістерській дисертації		
	Пакування: система запаковуються у картонну коробку білого кольору у пакуванні із паперових прес. Зовні коробка покрита термоусадковою плівкою прозорого кольору. Мета такого пакування – рекламна, щоб товар був впізнаваний «із коробки».		
	Марка: назва організації LMS&P (lightning monitoring Systems & Protection), система моніторингу блискавок & захисту		
III. Товар із підкріпленням	Система моніторингу блискавок для об'єктів		
	Система моніторингу блискавок для об'єктів із кріпленням до стіни, опори або до даху (уточняється при замовленні)		
Товар буде захищено від копіювання за допомогою міжнародного патенту.			

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на систему моніторингу блискавки для об'єктів, результати представимо в табл. 4.5.3.

Таблиця 4.5.3 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники (людський ресурс)	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	7000-14000 грн (в залежності від площі об'єкту). Ціна вказана за одне обстеження	Відсутні	Міністерство енергетики та вугільної промисловості України за 2017 рік 151 млрд грн)	Від 18000 до 30000 грн в залежності від складності об'єкту

Визначимо оптимальну систему збуту (табл. 4.5.4).

Таблиця 4.5.4 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Промисловий ринок. Втрата хоча б одного промислового споживача буде відображатися на за купівлях та реклами компанії	Встановлення контактів та надання консультацій щодо встановлення системи. Виконання логістичних функцій щодо транспортування товару. Маркетингові дослідження	Канал збуту однорівневий	Традиційна система збуту

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередню обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.5.5).

Таблиця 4.5. - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Поведінку клієнта формують стандарти із блискавкозахисту (ДСТУ Б В.2.5-38:2008, ДСТУ EN 62305:2012).	Формальні а також неформальні канали комунікацій (Інтернет, технічні виставки, інтернет-магазини)	Відслідкування ураження об'єкту блискавкою та надання оперативної інформації про характер та ступінь пошкодження в режимі реального, що дозволяє оперативно вживати заходів щодо їх усунення.	Інформаційне: формування знань про виробника та можливості застосування системи.	Головною структурою рекламного звернення буде надання інформації про надійність, технологічність системи моніторингу блискавок для об'єктів. Формою рекламного звернення буде представлення професійної майстерності Стиль науково-професійний

4.6 Висновки

В ході маркетингового аналізу системи моніторингу блискавок для об'єктів було проведено та обґрунтовано:

- Доцільність такої системи для об'єктів енергетики та промисловості, що займаються видобутком, переробкою або зберіганням горючих речовин;
- Проведено технологічний аудит стартап-проєкту, на основі якого було обґрунтовано технічне здійснення даного проєкту (системи моніторингу);
- Визначено фактори загроз та можливостей;
- Вибрано ринкову диференційовану стратегію розвитку та лідерну стратегію конкурентної поведінки;

З попиту ринку було встановлено, що дана система не має прямих аналогів, через що зростає успіх реалізації стартап-проекту у даній галузі. Варто відзначити, що дана система допоможе реалізовувати вимоги нормативних документів із блискавкозахисту із мінімальними економічними затратами.

Розширення клієнтської бази (підприємств, де можливо реалізувати дану систему) є пріоритетною задачею розвитку комерціалізації проекту при відсутності перешкод встановлення товару на ринку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих на ринку систем моніторингу та грозового попередження. Встановлено, що для систем локації блискавок основним недоліком являється відсутність засобів відео реєстрування та велика похибка локації розряду (до 500 м), що не дозволить її використовувати для окремо взятих об'єктів. Попереджувальні системи, як і системи локації блискавок не здатні реєструвати відеофрагменти ураження блискавкою об'єкту, а ті системи, що вже розвинені (відео моніторингу) потребують більш надійного тригерування процесу відео зйомки та обґрунтування роботи. На основі аналізу було запропоновано дві системи моніторингу – комплексну та спрощену, в якій застосовувались відеокамери та датчик магнітного поля, який працює за методом грозопеленгації і дозволяє ідентифікувати місце розряду блискавки за допомогою методу тріангуляції.

2. Запропоновано структуру систем моніторингу із обґрунтуванням основних технічних характеристик її компонентів. Рекомендуються:

- IP відеокамери, 50 к/с, із роздільною здатністю 1080p;
- Датчик магнітного поля – компактна феритова антена, що працює в діапазоні частот 3-30 кГц та має частоту резонансу понад 100 кГц;
- Для захисту від перенапруг викликаних близьким розрядом блискавки по відношенню до антени, необхідно встановлювати системи захисту від перенапруг (ПЗІП, діоди, спеціальні схеми і тд.).

Розроблено алгоритм роботи даної системи. Також рекомендується при надсиланні інформації на сервер в подальшому використовувати бібліотеки комп'ютерно зору Open CV для якісного аналізу відео фрагментів.

Розроблена система дозволяє в подальшому (при оновленні ПЗ) реєструвати не лише місце ураження, але й надавати інформацію про струм блискавки.

3. Для об'єкту 500х500м проведено розрахунки мінімального сигналу напруги на виході із феритової антени, при перевищенні якого система моніторингу буде тригеруватись, який становить 0.67 В (для мінімально зафіксованого струму блискавки 2 кА). Варто відзначити, що дана напруга буде залежати від геометричних розмірів об'єкту, тому вона повинна розраховуватись для кожного об'єкту індивідуально по методиці, що викладена в роботі.

4. Спроектовані фільтр низьких частот для обмеження частоти вхідного сигналу, що обумовлено наявністю частоти резонансу у феритовій магнітній антені і для цілей грозопеленгації не бажано працювати у цій області. Робота даного фільтру перевірена під час моделювання в Micro Cap 10, яке показало придатність до роботи в системі моніторингу.

5. В ході маркетингового аналізу системи моніторингу блискавок для об'єктів було проведено та обґрунтовано:

- Доцільність такої системи для об'єктів енергетики та промисловості, що займаються видобутком, переробкою або зберіганням горючих речовин;
- Проведено технологічний аудит стартап-проекту, на основі якого було обґрунтовано технічне здійснення даного проекту (системи моніторингу);
- Визначено фактори загроз та можливостей;
- Вибрано ринкову диференційовану стратегію розвитку та лідерну стратегію конкурентної поведінки;

З попиту ринку було встановлено, що дана система не має прямих аналогів, через що зростає успіх реалізації стартап-проекту у даній галузі. Варто відзначити, що дана система допоможе реалізовувати вимоги

нормативних документів із блискавкозахисту із мінімальними економічними затратами.

6. Розроблена система може використовуватись для моніторингу уражень блискавкою великих об'єктів енергетики та в інших галузях. Частково результати роботи було використано у розробці системи відео моніторингу блискавок на Новому Безпечному Конфайнменті на ЧАЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cummins K. L. An Overview of Lightning Locating Systems: History, Techniques, and Data Uses, With an In-Depth Look at the U.S. NLDN [Text] / Cummins K. L. and Murphy M. J. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2009. – Vol. 51, No. 3. – pp. 499-518.
2. Richard P. SAFIR: Operational System for Long Range Monitoring of thunderstorm Activity [Text] / Richard P., Soulage A., Broutet F., Iojou J. Y. and Bettencourt P. Proc. 10th Annual Intl. Symp. on Geoscience and Remote Sensing. – 1990. – pp. 1889-1892.
3. Rakov V. A. Lightning: physics and effects [Text] / Rakov V. A. and Uman M. A. – Cambridge University Press, 2003. – 687 p.
4. Євген Баранник, Олексій Кривобок, Олександр Кривошеїн. Блискавка зблизька. Система локації блискавок на території України // Електрик, № 6, 2018. – 24-37 с.
5. Bloemink H. Static electricity measurements for lightning warnings: an exploration [Text] / Bloemink H. – INFRA-R&D KNMI, 2013. – 28 p.
6. Shostak V., Prylepa R., Kozlov O., Brzhezitsky V. (2017). Design of conception on lightning monitoring system for strikes to structures // Technology audit and production reserves, № 6/1(38), 2017, с. 47-59. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119319.
7. Прилепа Р.Ф. Моніторинг блискавок, які уражують споруди. Бакалаврська дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра 6.050701 «Техніка та електрофізика високих напруг». - НТУУ, Київ, 2017.-89 с.
8. D.M. Suszcynsky, M.W. Kirkland, A.R. Jacobson, R.C. Franz, S.O. Knox, J.L.L. Guillen, and J.L. Green. FORTE observations of simultaneous VHF and optical emissions from lightning: Basic phenomenology // Journal of

- Geophysical Research: Atmospheres (1984(2012), 105(D2):2191{2201, 2000.
9. K. L. Cummins and M. J. Murphy. An overview of lightning locating systems: History, techniques, and data uses, with an in-depth look at the U.S. NLDN // *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, 51 (3), 499-518, doi: 10.1109/TEMC.2009.2023450, 2009.
 10. M. Uman, *The Art and Science of Lightning Protection*. Cambridge University Press, Cambridge, 2010.
 11. Vaisala Thunderstorm Total Lightning Sensor LS8000 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/LS8000-Datasheet-B210422EN-I-LoRes.pdf>
 12. K. L. Cummins and M. J. Murphy. An Overview of Lightning Locating Systems: History, Techniques, and Data Uses, With an In-Depth Look at the U.S. NLDN // *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 51, no. 3, pp. 499-518, Aug. 2009. doi: 10.1109/TEMC.2009.2023450
 13. Vaisala's NLDN U.S. National Lightning Detection Network [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: http://www.vaisala.ru/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Data%20sheets/MET-G-NLDN-Brochure-B210412EN-E_Low.pdf
 14. Amitabh Nag. Lightning Locating Systems: Characteristics and Validation Techniques / Amitabh Nag, Martin J. Murphy, Wolfgang Schulz, Kenneth L. Cummins. Proc. 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP), Shanghai, China, 2014. – PP. 824-836.
 15. GOES-R (Геостационарний експлуатаційний супутник спостереження за навколишнім середовищем) [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GOES-R>





















16. Project Description "Blitzortung.org" (Опис проекту Blitzortung.org)
[Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу:
http://ru.blitzortung.org/cover_your_area.php
17. Р. Прилепа, В. Шостак. Аналіз систем грозопеленгації та попередження про грозову активність. Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2017. – 590-597 с.
18. Standard IEC 62793:2016 Protection against lightning – Thunderstorm warning system.
19. Князев В. В., Постільник І. О. Процедура калібрування індикатора напруженості електричного поля для системи попередження про грозову небезпеку //Український метрологічний журнал. – 2016. – №. 3. – С. 25-28.
20. V. V. Kniaziev and I. Y. Postelnik. Thunderstorm warning systems. 2016 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Odessa, 2016, pp. 12-17. doi: 10.1109/UWBUSIS.2016.7724142
21. V. Shostak, R. Prylepa and O. Kozlov, Tests of Video Cameras for Lightning Monitoring System. 2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Rzeszow, Poland, 2018, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICLP.2018.8503294
22. Tao W., Shi Q. and Lihua S. (2017). Lightning localization using two MDF stations. IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing), Beijing, 2017, pp. 1-4. DOI: 10.1109/EMC-B.2017.8260394
23. Ismail R. and Baharudin Z. A. (2016). A review on basic principle of lightning location in multi-station system and the ability of single-station

- measurement. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Melaka, 2016, pp. 62-67. DOI: 10.1109/PECON.2016.7951534.
24. Wanke E., Andersen R., Volgnandt T. (2014). A World-Wide Low-Cost Community-Based Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: http://en.blitzortung.org/Compendium/Documentations/Documentation_2014-05-11_Red_PCB_10.4_PCB_12.3_PCB_13.1_PCB_14.1.pdf
 25. Raspberry Pi 3 Model B+D. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
 26. High-Precision AD/DA Board User Manual [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.waveshare.com/w/upload/b/b7/High-Precision-AD-DA-User-Manual.pdf>
 27. W5500 Datasheet [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://telefab.fr/lab/media/datasheet/w5500_ds_v105e_141111.pdf
 28. Радиомодем 900 Гц от Digi для сверхудаленных беспроводных подключений [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.sea.com.ua/besprovodnye-komponenty/video/videoobzor-radiomodem-900-gc-ot-digi-dla-sverhudalennyh-besprovodnyh-podklucenij/>
 29. Venus638FLPx GPS Receiver Data Sheet [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/GPS/Venus638FLPx.pdf>
 30. Power over Ethernet [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet
 31. Data Sheet OP27 [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/op27.pdf>





















32. 15W Single Output DC-DC Converter [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: https://storage.sea.org.ua/tech_info/meanwell/sd-15-spec.pdf
33. Матвеев Г. А. и Хомич В. И. Катушки с ферритовыми сердечниками. Изд. 2-е, доп. – М.: «Энергия», 1967. – 64 с.
34. Сенченков А.Ф., Фунштейн Л.Г. Применение ферритов в радиоаппаратуре. МРБ вып. 250. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 80 с.
35. Техніка та електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О.Бржезицького та В.М.Михайлова. – Харків: НТУ «ХПИ» - Торнадо, 2005. – 930 с.
36. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь. 1991. – 264 с.
37. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша, Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 30 с.
38. G. Shanqiang, Y. Biwu, Z. Chun, W. Tao and L. Qing, Application of lightning optical path monitoring system on 500kV transmission lines in mountain area. 2016 33rd International Conference on Lightning Protection (ICLP), Estoril, 2016, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICLP.2016.7791413
39. Р. Прилепа, В. Шостак. Система моніторингу блискавок для об'єктів енергетики. Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2018.

ДОДАТОК 1















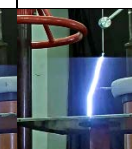





Результати випробувань ІР відеокамер (а) – з автоматичними та (б) спеціально підібраних і експериментально перевірених налаштуваннях

Cam	Кадри									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
	14:21:34.999	14:21:38.080	14:21:40.967	14:21:43.860	14:21:46.887	14:21:49.627	14:21:52.587	14:21:55.527	14:21:58.600	14:22:01.567
2										
	14:21:35.019	14:21:38.080	14:21:40.947	14:21:43.860	14:21:46.887	14:21:49.627	14:21:52.587	14:21:55.507	14:21:58.620	14:22:01.547

а

Cam	Кадри									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
	14:25:18.401	14:25:20.909	14:25:23.329	14:25:25.629	14:25:28.229	14:25:30.781	14:25:33.249	14:25:35.860	14:25:38.428	14:25:40.848
2										
	14:25:18.421	14:25:20.909	14:25:23.329	14:25:25.629	14:25:28.209	14:25:30.801	14:25:33.229	14:25:35.880	14:25:38.428	14:25:40.848

б

Cam	Кадри									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1										
	14:25:43.289	14:25:45.749	14:25:48.202	14:25:50.810	14:25:53.509	14:25:56.189	14:25:58.608	14:26:01.328	14:26:03.721	14:26:06.349
2										
	14:25:43.289	14:25:45.729	14:25:48.222	14:25:50.810	14:25:53.509	14:25:56.518	14:25:58.608	14:26:01.308	14:26:03.721	14:26:06.329

б (продовження)